

中京大学博士審査学位論文
大学院体育学研究科

剣道の正面打撃に関するバイオメカニクス的研究
-正面打撃時間の短縮に影響を及ぼす要因の検討-
Biomechanical research on *men* striking motion in kendo
-Factor to shorten the motion time of *men* striking-

2021年3月19日 学位授与

村瀬 直樹

目次

第1章	序論	1
1.	研究小史	1
2.	本論文の研究課題および目的	6
第2章	正面打撃時間と競技力の関係, および打撃時間の短縮に関わる動作要因	
1.	目的	7
2.	方法	7
2.1.	分析対象者および実験試技	7
2.2.	座標定義	9
2.3.	データ収集および処理	10
2.4.	算出項目	11
2.5.	統計処理	14
3.	結果	15
3.1.	部内総当たりリーグ戦の順位と各局面時間の関係	15
3.2.	正面打撃時間と身長および体重との関係	15
3.3.	正面打撃時間と各局面時間との関係	16
3.4.	正面打撃時間と各局面における算出項目との関係	17
3.5.	他の算出項目間において有意な相関関係が認められた項目	20
4.	考察	21
4.1.	剣道の競技力と各局面時間との関係について	21
4.2.	正面打撃時間と身長および体重との関係について	22
4.3.	正面打撃時間と各局面における算出項目との関係について	23

5. 小括	27
第3章 剣道の正面打撃動作中の踏み切り脚のキネティクス	28
1. 目的	28
2. 方法	30
2.1. 分析対象者および実験試技	30
2.2. 座標定義	30
2.3. データ収集および処理	31
2.4. 算出項目	32
2.5. データの規格化および統計処理	34
3. 結果	35
3.1. 踏み切り脚における下肢関節の角度, 角速度, トルク, およびトルク パワー	35
3.2. 正面打撃時間と踏み切り時間, および身体重心の動作開始から踏 み切り足離地までの位置変位との関係	37
3.3. 踏み切り脚における下肢3関節の底屈および伸展トルクのピーク 値と, その出現時刻	38
3.4. 踏み切り時間と, トルク発揮のタイミングの同期性	39
3.5. 踏み切り時間と, 下肢3関節それぞれの伸展トルクおよびトルクパ ワールのピーク値, 正の力学的仕事との関係	39
4. 考察	42
4.1. 踏み切り脚(左脚)における下肢関節トルクの推移	42
4.2. 踏み切り時間と, トルク発揮のタイミングの同期性, トルク・トル クパワーのピーク値, および力学的仕事との関係	42

4.3. トレーニングへの示唆	4 6
5. 小括	4 8
第4章 総括	4 9
第5章 体育学への貢献および今後の展望	5 3
謝辞	5 5
文献	5 6

本論文は以下の 2 編の論文に基づいて構成される。

1. Murase N, Horiuchi G, Sumi K, Horiyam K, and Sakurai S. (2017) Biomechanical Factors to Shorten the Movement Time of *Men* Striking Motion in Kendo. International Journal of Sport and Health Science, 14: 36-45. (第 2 章)
2. 村瀬直樹, 堀内元, 桜井伸二 (2019) 剣道の正面打撃動作中の踏み切り脚のキネティック的特徴と踏み切り時間の関係. バイオメカニクス研究, 23 (4) : 169-178. (第 3 章)

第1章 序論

1. 研究小史

剣道は、日本古来の剣術の修練をスポーツの形式とし、剣道具を着用し竹刀を用いて相手と相対し、面、小手、胴、突きの各部位において有効打突を取得するために打突し合う競技である（三橋, 1972）。全日本剣道連盟試合・審判規則（1995）によれば、有効打突の条件は「充実した氣勢、適正な姿勢をもって、竹刀の打突部で打突部位を刃筋正しく打突し、残心あるものとする」と定められている。さらに、この有効打突の条件の中には「要件」と「要素」がある。「要件」には「氣勢、姿勢、刃筋、竹刀の打突部、打突部位」と明記されており、「要素」には「間合、機会、体捌、手のうちの作用、強さと冴え」と明記されている（全日本剣道連盟剣道試合・審判・運営要領の手引き, 2007）。このように「要件」と「要素」から成り立つ有効打突の条件は非常に抽象的であるが、審判は目で見て、耳で聞いて、有効打突かどうかを判断することを要求される。つまり、フェンシング競技のように機械が判定を行い、決められた部位を触ればよいというものではなく、審判を納得させるような打突が求められる。

剣道では従来、有効とされる4部位（面、小手、胴、突き）の中でも面、とりわけ相手に向かって跳び込み、真上から打つ、正面打撃が重要視される傾向がある。練習過程において正面打撃に最も多くの時間が割かれ、実際の指導現場において、剣道を始めたばかりの初心者に対して初めに打たせる部位は正面が一般的である。また、恵土ほか（1983）による全日本選手権大会において発現された技と有効打の調査によれば、発現された技全801本の内378本が面技、有効打全47本の内25本が面技であったことが報告されている。また、巽（1985）は全日本学生大会および全日本選手権大会において、有効打になった技の中で出現率が一番高い技の種類はとび込み技（36.1%）であり、打突部位は

面（58.0%）が一番高い割合であったことを示した。つまり、剣道において面打撃，中でも最も基本の技である正面打撃は，試合でも頻繁に繰り出され，有効打を取得する割合も高いとされている。

剣道の打撃動作に関するこれまでの研究は，主に正面打撃に焦点が当てられてきた。横山ほか（2001）は，剣道の正面打撃動作中の身体各部における関節角度の時系列変化を3次元的に示し，標準的な正面打撃動作のモデルを構築するとともに，運動の個人差の大きさや個人差の表れる局面や身体部位を明らかにした。三宅と加賀（2003）は，一流競技者と大学剣道部員の正面打撃動作を比較し，その違いを明らかにした。田中ほか（1980）は，正面打撃動作の踏み込み動作に着目し，男子剣道選手および女子剣道選手における踏み込みの衝撃力や踏み込み足（右足）の動作の比較を行い，その違いを明らかにした。このように，正面打撃動作中の身体各部の動作の様相は明らかにされており，また熟練度や性別の差異による違いなども明らかにされてきている。

恵土と星川（1984）は，有効打突を取得するためには，相手の防御動作よりも打撃動作が早いことが重要であると述べている。つまり，相手との攻防動作を行っている中で，自分が打つと判断を下した瞬間から打撃までの時間をいかに短縮させるかが重要であると言える。

打撃時間に着目した先行研究について，大崎ほか（1987）は，正面打撃時間と体格，筋力，パワーとの関係性を調べ，身長が高く，体重が重く，背筋力および脚屈曲力が大きい者ほど，正面打撃時間が短い傾向を示した。横山ほか（1981）は，中段の構えにおける体重配分と正面打撃時間の関係を調べ，体重配分が前足に50%以上かかっている者は，後ろ足に50%以上かかっている者よりも正面打撃時間が短いという結果を示した。脇田ほか（1989）は，熟練者と未熟練者を対象として，中段の構えにおける左右の足の前後幅を，左足が右足

より 25cm 前にある時，前後幅が 0cm の時，右足が前の時における前後幅が 25～75cm の 5 段階に規定して正面打撃動作に及ぼす影響を検討し，熟練者及び未熟練者の両群において，左足が前の時における左右の足の前後幅が 25cm の時に正面打撃時間が最も短いことを示した．以上の先行研究により，体格，筋力，構えの種類，体重配分，および左右の足の前後幅から正面打撃時間を短縮させる要因は明らかにされてきた．しかし，これまでに正面打撃時間を短縮させる要因を，打撃動作の特徴から検討した研究はみあたらない（問題点 1）．また，経験からも早さが重要というのは，一般的にも認識されているものであると考えられるが，果たして打撃動作の早さが剣道競技者の競技力にどの程度関係しているかは明らかとなっていない（問題点 2）．

剣道は，前述のように相手の防御動作より打撃動作が早いことが重要（恵土と星川，1984）といわれていることから，相手と対峙して攻防動作を行っている中で，打つという判断を下した瞬間の位置から相手の打突部位までの距離の間での，身体の早い移動を伴った打撃が求められることが予想される．剣道の基本的な構えとなる中段の構えは，前後に足を開いた状態で構え，前足（右足）を離床させて，片脚でのその場からの前方ジャンプのように後足（左足）のみで踏み切る動作をしている．つまり，剣道において高いパフォーマンスを発揮するためには，左脚による大きな力発揮が重要であると考えられる．

これまでの剣道の踏み切り動作（踏み切り脚）に関する研究に着目してみると，横山と百鬼（1984）は，左足先（踏み切り脚）の方向の角度の違いが，足底力と正面打撃動作にどのような影響を及ぼすかを検討し，左足先角度が外側に大きくなるにつれて，足底力の左方向成分が増大するが，後方向および垂直下方向成分が減少することを示し，また，動作として身体の前傾角度が減少することを示した．久保ほか（2001）は，剣道の中段の構えの前後幅の変化が踏み

切り脚の内側広筋および腓腹筋の EMG 放電量と地面反力に及ぼす影響を調べ、前後幅が一足長以上の場合、踏み切り時間が短縮される傾向であること、足の前後幅が広がるにつれ、筋活動が主に下腿三頭筋から大腿四頭筋（内側広筋）へ変化していることを示した。しかし、これらの研究では、踏み切り動作中の地面反力の様相や、内側広筋や腓腹筋といった部分的な筋活動量が提示されているが、踏み切り脚の関節周りの筋群がどの程度力を発揮しているか、或いはトルク発揮の変化の様相などといった、力学的特徴（キネティクスの特徴）については充分といえるほど明らかにされていない（問題点 3）。

一方、剣道の踏み切り動作に類似した踏み切り動作が含まれるフェンシングの突き動作では、下肢の筋群がどの程度活動しているか推定するために、下肢関節のトルクやトルクパワーなどのキネティクスの変数が算出され、その特徴を明らかにしている研究がみられる。Morris et al. (2011) は、フェンシングの突き動作における踏み切り脚の各関節のモーメントや発揮したパワーを調べ、3 関節の中でも特に足関節が発揮するトルクやパワーが大きいことを示している。

ジャンプ動作に着目してみると、踏み切り動作中の下肢関節のキネティクスの特徴を明らかにしている研究は数多く存在する。片脚ジャンプの踏み切り動作では、下肢の筋群がどの程度活動しているか推定するために、下肢関節のトルクやトルクパワーなどのキネティクスの変数が算出され、その特徴が明らかにされてきている。荻山と凶子 (2014) は、鉛直方向への片脚踏み切りジャンプおよび水平前向き方向への片脚踏み切りジャンプにおける踏み切り脚の力発揮特性を調べ、両ジャンプにおける下肢関節の角速度や発揮するトルクおよびトルクパワーの変化を時系列データとして示した。その結果、鉛直方向におけるジャンプにおいては、足関節の負のトルクパワーが水平方向のものより大き

いこと、また水平方向におけるジャンプにおいては、膝関節の負のトルクパワーが、鉛直方向のものより大きいことを、それぞれのジャンプの特徴として示した。Muraki et al. (2008) は、走り幅跳びの踏み切り局面中における接地脚の関節のトルク、トルクパワーや仕事などの力学的特徴を明らかにし、足関節は踏み切る局面に正の仕事をなし、その値は股関節や膝関節の値より大きいことを示した。

一方、両足ジャンプに関する研究について鳥海ら (2002) は、垂直跳びおよび立ち幅跳びにおける下肢関節のトルクの様相や各関節がなした仕事の割合を示し、垂直跳びにおいては、股関節、膝関節、足関節の順に仕事の割合が大きく、立ち幅跳びにおいては、股関節、足関節、膝関節の順に仕事の割合が大きいことを示し、特に立ち幅跳びにおける膝関節の仕事の割合が垂直跳びと比較して著しく小さいことを明らかにした。

このように、剣道の踏み切り動作に類似していると考えられるフェンシングの突き動作や、各種ジャンプに関する踏み切り動作においては、踏み切り脚の関節におけるキネティクスの特徴は明らかにされ、また、ジャンプの種類によってその特徴に違いがあることが示されている。剣道の打撃動作中の踏み切り脚においても、各関節が発揮するトルクやトルクパワーなどを推定し、どの関節周りの筋群がどの程度活動しているかなどのキネティクスの特徴を明らかにすることは、剣道の踏み切りに適したトレーニング手段の特性を理解するため、ひいては打撃動作を早くし、競技力を向上させるために必要不可欠であると考えられる。

2. 本論文の研究課題および目的

研究小史において剣道の正面打撃動作に関する先行研究を概観することで、以下の3点の問題点が指摘された。

1. 剣道の正面打撃動作において、打撃時間を短縮させる要因について、これまでに構えの足の体重配分や前後幅、身長や体重、筋力的特徴から断片的な検討はされているものの、打撃動作の特徴から総合的に検討されていない。
2. 剣道の正面打撃時間と競技力との関係性が明らかにされていない。
3. 剣道では構えから打撃までの間において身体の早い移動が必要になると予想される。しかしながら、その役割を果たす踏み切り脚のキネティック的特徴について明らかにしている研究は見当たらず、トレーニング手段の特性を理解するための情報が提示されていない。

以上の問題点について検討するため、剣道の正面打撃時間と競技力の関係を調査（第2章）するとともに、正面打撃時間の短縮に影響を及ぼす要因を打撃動作中の運動学的特徴（キネマティック的特徴）（第2章）および踏み切り脚の運動力学的特徴（キネティック的特徴）（第3章）から検討することを本論文の目的とした。

第2章 正面打撃時間と競技力の関係，および打撃時間の短縮に関わる動作要因

1. 目的

第1章で述べたように，これまでに正面打撃時間を短縮させる要因について体格，筋力，構えの種類，体重配分，および左右の足の前後幅から断片的に検討されてきた．しかしながら，打撃動作中の動作特徴から正面打撃時間を短縮させる要因を総合的に検討した研究が見当たらない．また，打撃時間の短縮は競技力とどの程度関係性があるか明らかにされていない．以上のことから，正面打撃時間を短縮させる動作要因および正面打撃時間と競技力の関係性を明らかにすれば，現場に対する指導知見としての客観的データを提示することが可能となり，競技力向上への一助になると考えられる．

本章の目的は，剣道の競技力と正面打撃時間の関係を調査し，正面打撃時間を短縮させる要因について打撃動作の特徴から明らかにすることである．

2. 方法

2.1. 分析対象者および実験試技

本章における分析対象者は，大学男子剣道部員 20 名（年齢： 19.5 ± 1.1 歳，身長： 1.73 ± 0.03 m，体重： 68.2 ± 6.1 kg，経験年数： 13.2 ± 1.7 年，段位：4—2 段）であった．なお，この分析対象者は，実験の約 2 ヶ月前に行われた大学剣道部に所属する 32 名の選手全員による部内総当りリーグ戦で，1 人当たり 31 試合行った結果から順位づけされている上位 20 名（1-20 位）である（表 2-1）．本論文における実験は，中京大学大学院体育学研究科研究倫理審査委員会の承認を得て行われた（承認番号：2013-003）．分析対象者には，実験の目的および内容などを説明し，予め書面にて実験参加への同意を得た．

表2-1 被験者の順位, 年齢, 身長, 体重, 経験年数, 段位, 正面打撃時間

Subjects No. (Ranking)	Age (years)	Height (m)	Weight (kg)	Yrs. Exp.	Dan	<i>Men</i> strike time (s)
1	21	1.72	69.2	16	4	1.039
2	20	1.70	59.5	14	3	1.020
3	20	1.72	68.2	14	3	0.952
4	21	1.73	62.0	13	3	0.937
5	19	1.69	72.2	14	3	0.821
6	20	1.75	69.3	12	3	0.901
7	19	1.71	79.1	14	3	0.801
8	20	1.69	58.0	15	3	1.104
9	19	1.77	66.3	14	3	1.064
10	18	1.75	67.2	14	3	1.000
11	18	1.67	58.9	11	3	1.172
12	20	1.75	65.9	14	3	1.044
13	21	1.74	68.2	12	3	1.033
14	19	1.73	66.3	10	3	1.049
15	21	1.81	67.9	13	3	1.013
16	19	1.75	69.3	15	3	1.159
17	20	1.78	84.5	16	3	1.110
18	18	1.72	69.2	12	3	1.139
19	20	1.73	70.0	11	2	1.153
20	18	1.72	72.2	11	3	1.110
Mean±SD	19.5±1.1	1.73±0.03	68.1±6.1	13.2±1.7		1.031±0.105

被験者には実験試技の前に十分な準備運動と、実験試技に使用する竹刀を用いた素振り、面・小手それぞれにおける実打の練習を行わせた。

動作の特徴を検出するため、被験者の解剖学的な身体特徴点 36 点（頭頂、胸骨上縁、第 7 頸椎、剣状突起、左右の耳珠、肩峰・上前腸骨棘・上後腸骨棘・内側上顆・外側上顆・尺骨頭・橈骨茎状突起・第 3 中手骨・大転子・外側顆・内側顆・外顆・内顆・踵骨・第二中足趾節関節）および竹刀 2 点（剣先、鍔元）に反射マーカを貼付した。その後、被験者に、2 枚のフォースプレート上で打撃目標物に対して構えさせた。打撃目標物である面までの距離は先行研究に準じて（中鉢ほか, 1987；脇田ほか, 1989）被験者の左足（後ろ足）のつま先から 2.3m の距離とした。この規定した距離は、実際の試合で相手と対峙した時の間合とほぼ同様となる距離であった。面の高さは被験者の身長と同等の高さに調節した。小手の高さは、被験者の構えた時の右手部の高さと同様の高さに調節した。LED ランプ（PH-1133, DKH 社）を打撃目標物である面と小手に装着した。LED ランプが点灯した方に向かって打撃動作を行わせる二択式の方法を行った（図 1-1）。面と小手の LED ランプの点灯順序は、ランダムに設定した。なお、被験者には LED ランプの点灯後、できる限り早く打撃動作を行うよう指示した。有効打の判定は、審判経験がある者が行った。以上の条件において、有効打と判断され、さらに被験者の納得いく試技が面と小手それぞれ 5 回得られるまで行った。使用した竹刀は公式試合で使用できる条件（長さ：120cm 以下、質量：510g 以上）を満たしている同一のものであった。

2.2. 座標定義

打撃目標物に対して、進行方向を Y 軸、左右方向を X 軸、鉛直方向を Z 軸とする、右手系の静止座標系を定義した（図 2-1）。

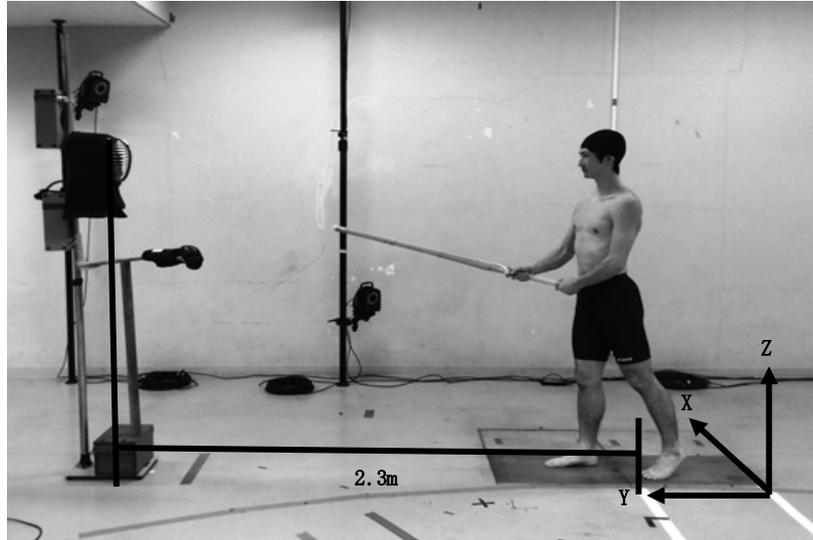


図2-1 実験風景と座標定義

2.3. データ収集および処理

打撃動作の撮影は光学式三次元動作分析装置（VICON MX, Oxford Metrics Group）と専用カメラ 10 台（MX13, Oxford Metrics Group）を用いた。その際のサンプリング周波数は 250Hz とした。同時に地面反力の測定は、光学式三次元動作分析装置と同期された 2 台のフォースプレート（9281B, Kistler）と 2 台の 8ch チャージアンプ（9865B, Kistler）を用いて行った。その際のサンプリング周波数は 1000Hz とした。

本研究では、面打ちの試行のみを研究の対象とした。本研究における分析範囲は、LED ランプが点灯してから打撃の瞬間までとした。なお、打撃の瞬間は、竹刀の角速度が負の値になる 1 コマ前（1/250 秒前）とした。

得られた身体各部の座標値に対してバターワース型ローパスデジタルフィルタ

を用いて平滑化を行った。カットオフ周波数(14.6—27.1Hz)は Yu et al.(1999)の方法によって決定した。その際、打撃の瞬間の衝撃によって竹刀速度が急激に減速することを考慮して、剣先および鍔元の座標値の平滑化は行わなかった。座標データおよび地面反力は矢状面上(YZ平面)に投影し、2次元平面上で分析を行った。

2.4. 算出項目

2.4.1. 身体重心位置・速度

身体を、頭部、体幹部、左右の上腕部・前腕部・手部・大腿部・下腿部・足部の14部位に剛体リンクモデル化し、身体重心位置を算出した(阿江, 1996)。身体重心の位置変位を時間で数値微分することで身体重心の速度を算出した。

2.4.2. 動作中の身体各部の関節および竹刀角度・角速度(図2-2)

動作中の身体各部における関節角度の定義を以下に示した。

$\theta 1$. 上体前傾角度：両上前腸骨棘と両上後腸骨棘の中心点から Z 軸に引いた線分と、両上前腸骨棘と両上後腸骨棘の中心点から両肩峰の中心点を結んだ線分とのなす角度

$\theta 2, 3$. 左右肩関節角度：左右同側の肩峰と大転子を結んだ線分と、肩峰と肘関節中心点を結んだ線分とのなす角度

$\theta 4, 5$. 左右肘関節角度：肘関節中心点と肩峰を結んだ線分と、肘関節中心点と手関節中心点を結んだ線分とのなす角度

$\theta 6, 7$. 左右手関節角度：手関節中心点と肘関節中心点を結んだ線分と、竹刀とのなす角度

$\theta 8, 9$. 左右股関節角度：大転子から Y 軸方向に引いた線分と、大転子と膝関

節中心点を結んだ線分とのなす角度

$\theta_{10, 11}$. 左右膝関節角度：膝関節中心点と大転子を結んだ線分と，膝関節中心点と足関節中心点を結んだ線分とのなす角度

$\theta_{12, 13}$. 左右足関節角度：足関節中心点と膝関節中心点を結んだ線分と，足関節中心点と第二中足趾節関節を結んだ線分とのなす角度

θ_{14} . 竹刀角度：竹刀の鏝元から Y 軸に引いた線分と，竹刀とのなす角度を竹刀角度とした．

算出されたそれぞれの角度を時間で数値微分することで，それぞれの関節および竹刀角速度を算出した．

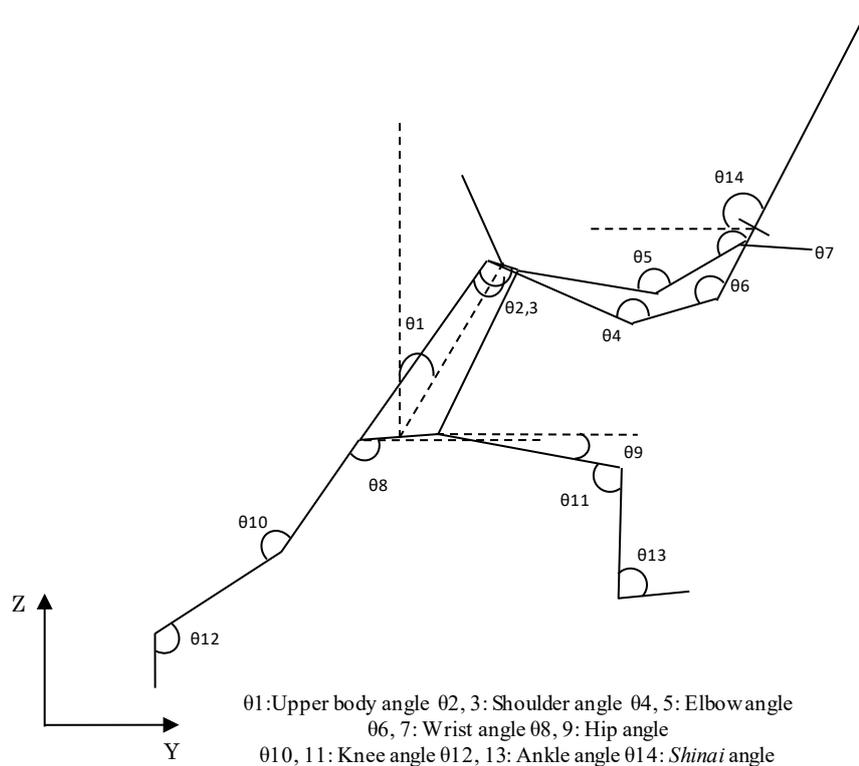


図2-2 竹刀および関節角度定義

2.4.3. 地面反力

左右の足に作用する鉛直方向成分の地面反力を抽出した。

2.4.4. 正面打撃時間および各局面時間 (図 2-3)

LED ランプ点灯から、身体重心の合成速度が 0.05m/s 以上に達するまでの時間を、反応時間 (reaction time) とした。身体重心の合成速度が 0.05m/s に達した時点から、打撃の瞬間までの時間を、動作時間 (movement time) とした。LED ランプ点灯から打撃の瞬間までの時間 (反応時間+動作時間) を、正面

打撃時間 (*men strike time*) とした. 身体重心の合成速度が 0.05m/s に達した時点から竹刀角度が最小値に達するまでの時間を, 竹刀振上げ局面時間 (*upswing phase time*) とした. 竹刀角度が最小値に達した時点から打撃の瞬間までの時間を, 竹刀振り下ろし局面時間 (*downswing phase time*) とした. 右足 (前足) に作用している鉛直地面反力の値が 0 になった瞬間を右足離床とし, 身体重心の合成速度が 0.05m/s に達した瞬間から右足が離床するまでの時間を, 右足離床時間 (*right foot lift time*) とした.

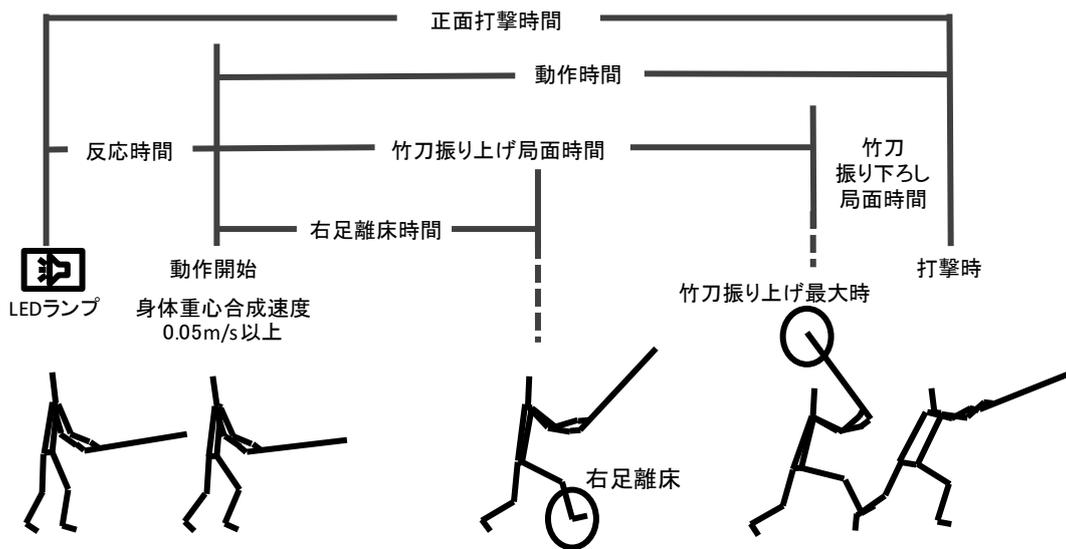


図2-3 各局面時間の定義

2.5 統計処理

成功試技 5 本の正面打撃時間における最長時間と最短時間の試技を除いた 3 本の試技を平均した値を各被験者の代表値とした. 正面打撃時間と他の算出項目の関連性について検討するため, Pearson の積率相関係数をそれぞれ算出した. なお, その際の有意水準は 5% とした.

3. 結果

3.1. 部内総当たりリーグ戦の順位と各局面時間の関係

図 2-4 に部内総当たりリーグ戦の順位（以下「順位」と略す）を横軸として、各局面時間との関係を示した。順位と正面打撃時間（ $r = 0.620$, $p = 0.003$: 図 2-4 上段左）、反応時間（ $r = 0.651$, $p = 0.002$: 図 2-4 上段中央）、動作時間（ $r = 0.552$, $p = 0.012$: 図 2-4 上段右）、および竹刀振り上げ局面時間（ $r = 0.577$, $p = 0.008$: 図 2-4 下段左）との間にそれぞれ有意な相関関係が認められた。順位と竹刀振り下ろし局面時間との間には有意な相関関係は認められなかった（ $r = -0.154$, $p = 0.517$, n. s.: 図 2-4 下段右）。

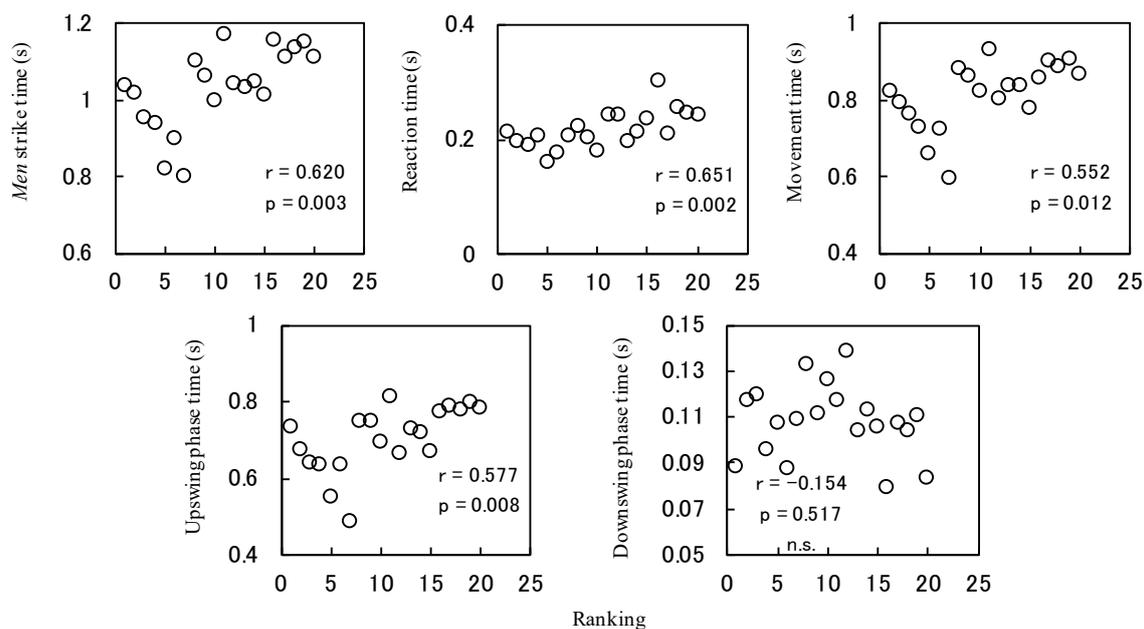


図2-4 順位と各局面時間の関係

3.2. 正面打撃時間と身長および体重との関係

図 2-5 に正面打撃時間を横軸として、身長および体重との関係を示した。正面打撃時間と身長（ $r = 0.061$, $p = 0.798$, n. s.: 図 2-5 左）、および体重（ $r =$

-0.228, $p = 0.334$, n. s. : 図 2-5 右) との間にはそれぞれ有意な相関関係は認められなかった。

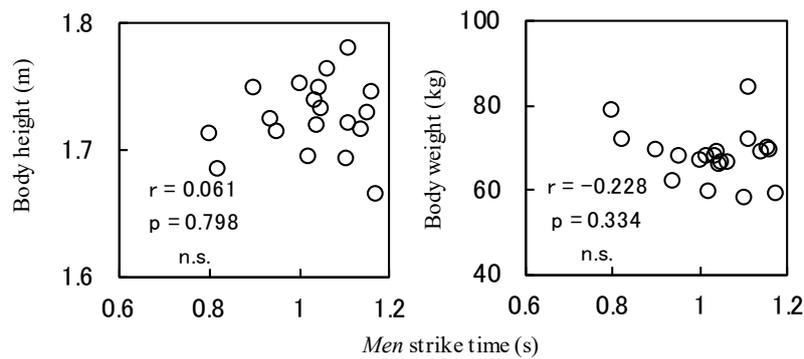


図2-5 正面打撃時間と身長および体重の関係

3.3. 正面打撃時間と各局面時間との関係

図 2-6 に正面打撃時間を横軸として、各局面時間との関係を示した。正面打撃時間と反応時間 ($r = 0.730$, $p < 0.001$: 図 2-6 左上)、動作時間 ($r = 0.966$, $p < 0.001$: 図 2-6 右上)、および竹刀振上げ局面時間 ($r = 0.963$, $p < 0.001$: 図 2-6 左下) との間にはそれぞれ有意な相関関係が認められた。正面打撃時間と竹刀振り下ろし局面時間との間には有意な相関関係は認められなかった ($r = -0.004$, $p = 0.987$, n. s. : 図 2-6 右下)。

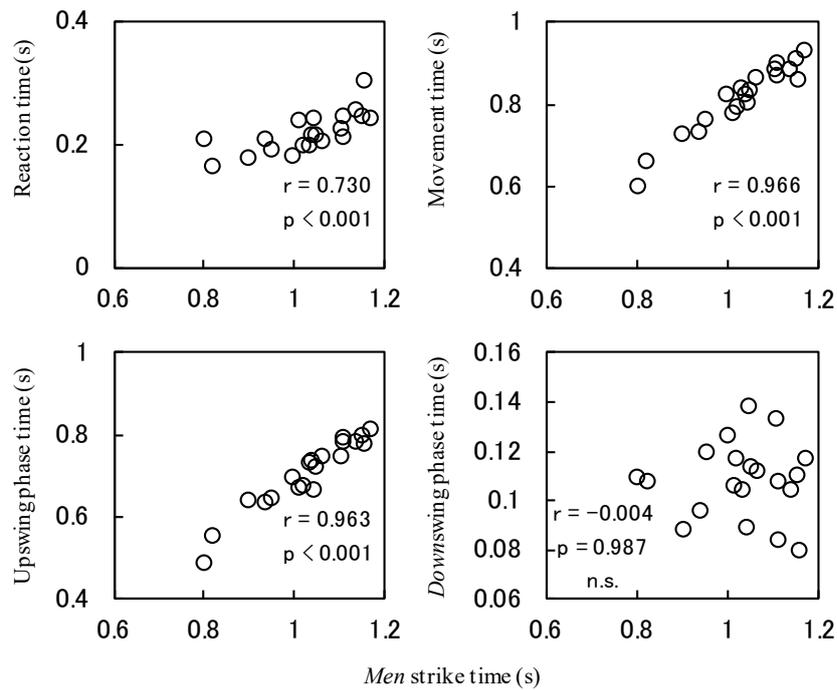


図2-6 正面打撃時間と各局面時間の関係

3.4. 正面打撃時間と各局面における算出項目との関係

3.4.1. 竹刀振り上げ局面

図 2-7 に正面打撃時間を横軸として、竹刀振り上げ局面における算出項目との関係を示した。正面打撃時間と右足離床時間 ($r = 0.759$, $p < 0.001$: 図 2-7 上段左), 身体重心の平均合成速度 ($r = -0.748$, $p < 0.001$: 図 2-7 上段中央), 竹刀角度の最小値 ($r = 0.498$, $p = 0.025$: 図 2-7 上段右), および竹刀振り上げ角速度のピーク値 ($r = 0.613$, $p = 0.004$: 図 2-7 下段左) との間にそれぞれ有意な相関関係が認められ, LED ランプ点灯時の右足への体重配分 ($r = -0.308$, $p = 0.186$, n. s. : 図 2-7 下段右) との間に有意な相関関係は認められなかった。

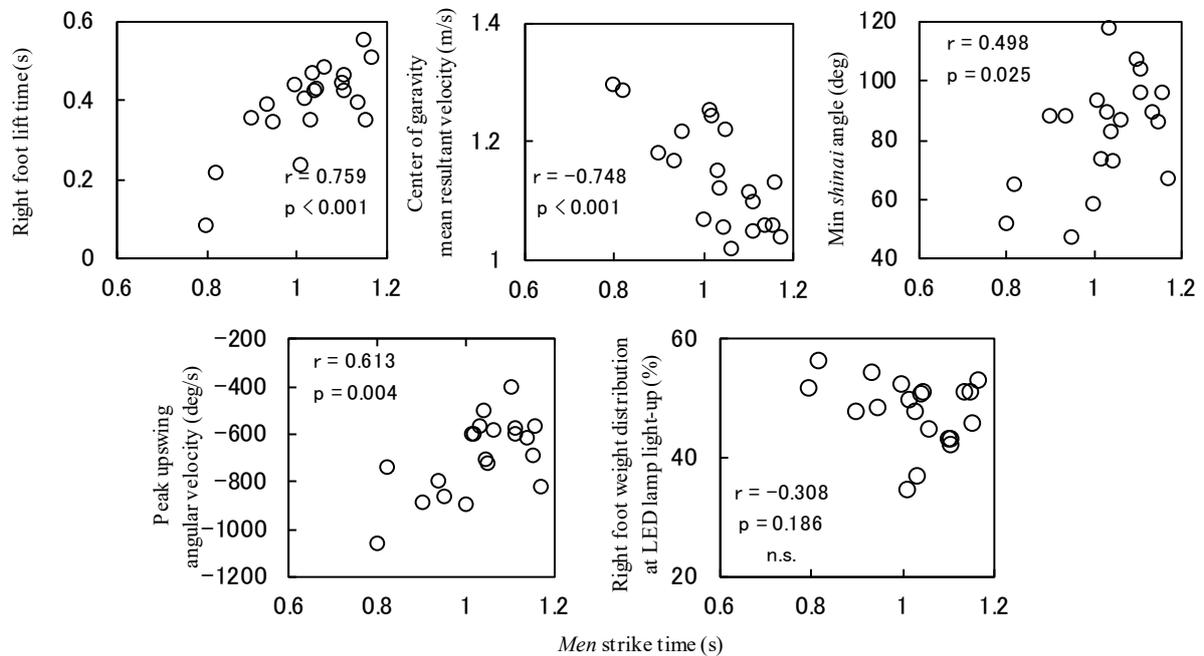


図2-7 正面打撃時間と竹刀振り上げ局面における算出項目との関係

3.4.2. 右足離床時間と正面打撃時間の関連性

図 2-8 に正面打撃時間が短い被験者 3 名（図 2-8 上段：Subject No. 7, 5, 6）と長い被験者 3 名（図 2-8 下段：Subject No. 19, 16, 11）における，LED ランプが点灯してから，右足が床から離れるまでの両足に作用する鉛直地面反力の変化（典型例）を示した．正面打撃時間が短い被験者 3 名は，短時間の内に左足に体重をかけて右足を離床させていた．それに対して正面打撃時間が長い被験者 3 名は，右足が床から離れるまでに，左右の足において体重のかけかえが行われて，離床するまでの時間が長い傾向であった．

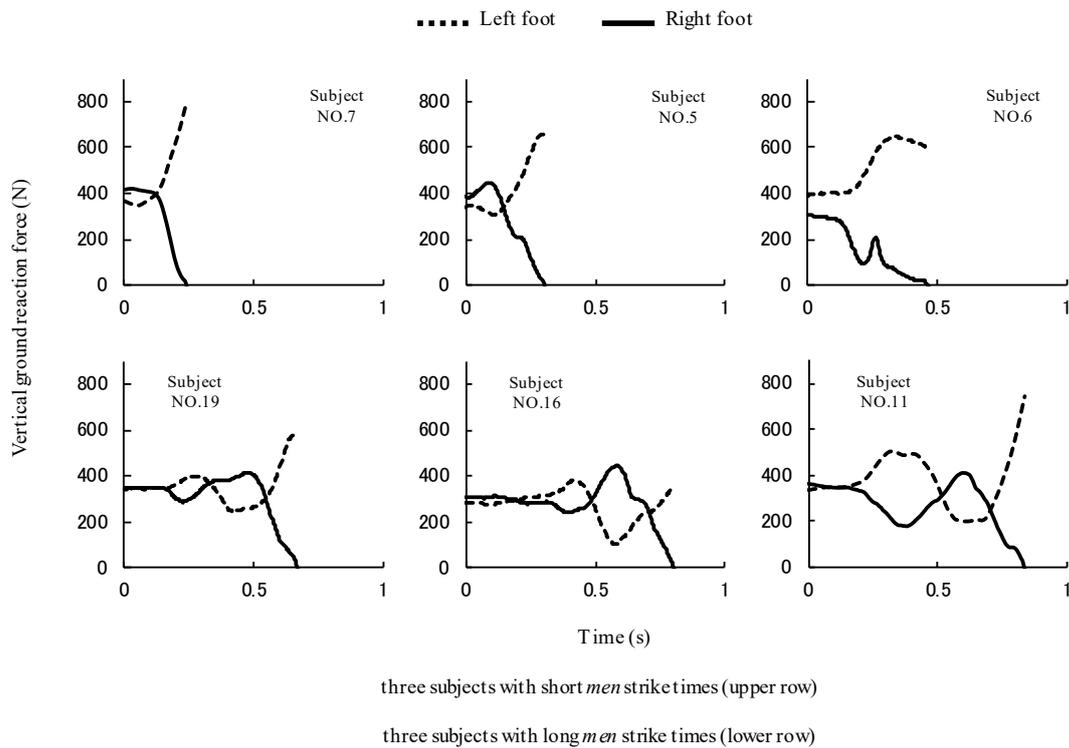


図2-8 右足が離床するまでの両足へ作用する地面反力の変化(典型例)

3.4.3. 竹刀振り下ろし局面

図 2-9 に正面打撃時間を横軸として、竹刀振り下ろし局面における算出項目との関係を示した。正面打撃時間と竹刀振り下ろし角速度のピーク値 ($r = -0.678$, $p < 0.001$: 図 2-9 左), LED ランプ点灯から打撃の瞬間までの身体重心の移動距離 ($r = 0.742$, $p < 0.001$: 図 2-9 中央), および打撃の瞬間の左肩関節角度 ($r = -0.501$, $p = 0.024$: 図 2-9 右) との間にそれぞれ有意な相関関係が認められた。

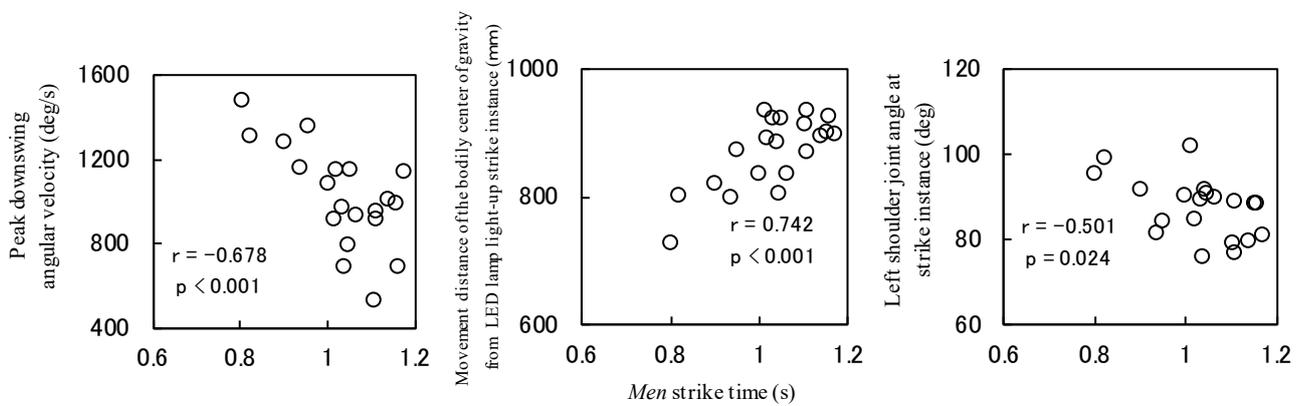


図2-9 正面打撃時間と竹刀振り下ろし局面における算出項目との関係

3.5. 他の算出項目間において有意な相関関係が認められた項目

図 2-10 に他の算出項目間において有意な相関関係が認められた項目を示した。鉛直地面反力のピーク値と身体重心の平均合成速度との間に有意な相関関係 ($r = 0.482$, $p = 0.031$: 図 2-10 左) が認められた。竹刀角度の最小値と竹刀振り下ろし角速度のピーク値との間に有意な相関関係 ($r = -0.806$, $p < 0.001$: 図 2-10 右) が認められた。

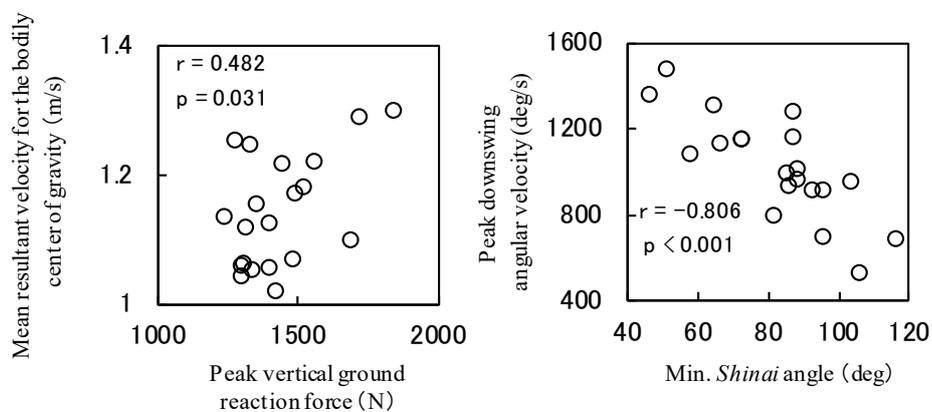


図2-10 他の算出項目間において有意な相関関係が認められた項目

4. 考察

4.1. 剣道の競技力と各局面時間との関係について

本論文で使用した競技力の指標とした順位データは、同一の大学剣道部に所属する 32 名の選手全員の総当たり戦で、1 人当たり 31 試合行った結果の上位 20 名の者である。トーナメント方式と違って、最終的な順位の偶然性が低く、競技力を示す順位データとしては信憑性が高いものと考えられる。また、全体としてその競技レベルは高く、しかもそのレベルが比較的似通った集団のデータであると解釈できる。

順位が上位な者ほど正面打撃時間、反応時間、動作時間、および竹刀振り上げ局面時間が短い傾向にあった（図 2-4）。田淵と安東（1966）は、剣道未経験者、剣道を始めて 4 ヶ月の初心者、剣道を始めて 3—5 年の中程度熟練者、および全日本選手権大会優勝者の熟練者の 4 群に被験者を分け、あらかじめ打撃部位を指定して打撃させる単純反応課題、および面、小手、胴の 3 択式の選択反応課題において、それぞれ反応時間と動作時間を調査した。その結果、熟練度が高い者ほど両課題において反応時間、動作時間が短いことを示している。また、Williams and Walmsley（2000）は、フェンシング競技において、国内トップレベルの熟練者と競技を始めたばかりの未熟練者における Lunge の反応時間、動作時間、および全身反応時間との関係を検討し、熟練者は未熟練者に比べ、反応時間と全身反応時間が有意に短いことを示している。本論文の被験者は大学剣道部における比較的経験や競技レベルが類似した者であったが、その結果は、これらの未熟練者から熟練者という広い範囲を対象とした先行研究の結果と同様に、競技レベルの高い者ほど正面打撃時間、反応時間、および動作時間が短い傾向を示した。しかしながら、一部のデータにおいて（順位の上位 7 名）、順位が上位の者の中には、正面打撃時間が長い傾向を示しているものも

みられる。そのため、別の手法によっても競技力と正面打撃時間の関係を確認することとした。大学剣道の男子団体戦は 7 人制で行われ、選手登録人数は 9 名となる。すなわち、本論文の順位データの上位 10 名はレギュラー群、下位 10 名は準レギュラー群として考えることができる。そこで、被験者 20 名を、順位の上位 10 名と下位 10 名の 2 群に分けて、両群の正面打撃時間について対応のない t 検定によって平均値の差の比較を行ったところ、上位 10 名は、下位 10 名と比較して有意に正面打撃時間が短い傾向を示した（上位 10 名： $0.951\pm 0.086s$ ，下位 10 名： $1.110\pm 0.046s$ ， $p<0.001$ ）。よって、順位が上位な者の中には打撃時間が長い者が散見されるものの、一般に競技力が高い者の方が、正面打撃時間が短い傾向であることを示した。このことから本研究の結果は、正面打撃時間の短縮が競技力向上の一要因になることを示唆するものである。したがって、瞬時に勝敗が決する剣道では正面打撃時間の短縮が競技力向上に影響を与えると考えられる。

4.2. 正面打撃時間と身長および体重との関係について

本研究の結果から正面打撃時間は身長および体重に影響されないことが示された（図 2-5）。剣道は、ボクシング、レスリング、柔道のように、体重別による試合は行われていない。つまり、剣道は体格の差が勝敗に決定的な影響を及ぼさないという考えのもとで行われていることになる。体格が勝敗に及ぼす影響の有無について、笹原（1970）は、全日本選手権大会および全国高校大会出場者の特徴を検証し、全日本選手権大会出場者では体格による影響はなく、全国高校大会出場者では体格が影響することを示した。しかし、身長が高く、体重が重い者ほど面打撃時間が短縮する傾向を示した報告もある（大崎ほか，1987）。本研究の結果は前者と類似したものであった。技能が高ければ体格が

劣っている部分を補えるかもしれないが、技能があるレベル以下の場合には体格の優劣が関わってくるのかもしれない。したがって、後者における体格差が面打撃時間を左右する点については、被験者の熟練度が一定レベルに達していないと考えられる。本研究の被験者は大学剣道選手であったが、体格の優劣が正面打撃時間を短縮させる決定的な要因となっていなかった。

4.3. 正面打撃時間と各局面における算出項目との関係について

4.3.1. 竹刀振り上げ局面

正面打撃時間と右足離床時間との間に有意な相関関係が認められた（図 2-7 上段左）。これは正面打撃時間の短縮に右足離床時間が関係していることを示している。横山ほか（2001）は、剣道の正面打撃動作は竹刀の振り上げに先立って右足を踏み込むために右下肢の前方への移動が開始されることを報告している。また神埼と伊藤（2005）は、正面打撃動作の基本打ちと実戦打ちにおける 2 種類の動作の特徴について、基本打ち動作では剣先の動きが先行し、その後右足の始動を経て打撃するのに対し、実戦打ちでは右足始動が先行し、その後剣先の始動を経てから打撃することを示している。これらの報告から、実戦打ちを行う際には、身体を前方移動させるために右足の離床を先行させなければならないことになる。また、右足の離床時間が長くなれば自然と竹刀振り上げ局面時間が長くなる。そこで、本研究ではこれらの要因の特徴を追認するために右足離床動作の違いについて正面打撃時間の短い上位 3 名と下位 3 名を比較した（図 2-8）。上位 3 名と比べ、下位 3 名は左足から右足、さらに左足へと体重をかけかえていることによって右足離床時間が長い傾向が確認された。このことから、左足（踏み切り足）へスムーズに体重を乗せることが右足離床を早め、身体の初動を早めることにつながると考えられる。

LED ランプ点灯時における右足の体重配分と正面打撃時間との関係について、本研究の結果では有意な相関関係は認められなかった(図 2-7 下段右)。また、体重の 50%以上を右足にかけている被験者が 9 人、体重の 50%以上を左足にかけている被験者が 11 人であった。横山ほか(1981)の研究では、体重配分が前足に 50%以上かかっている者は、後ろ足に 50%以上かかっている者よりも正面打撃時間が短いという結果が示されていたが、本研究では異なる結果が得られた。剣道の稽古や試合では様々な部位を打突し、また相手の動きに対して前に出るだけでなく、時には後ろに退いて相手の技をかわしたり、応じ技を繰り出したりする。両足への体重配分が正面打撃時間に決定的な影響を及ぼさないのであれば、いかなる状況にも柔軟に対応できるように両足への体重配分を同程度にかけることになる。そして相対する相手との攻防の中で巧みな足さばきと重心移動を繰出し対応していると考えられる。これらのことから、本研究の結果と横山ほか(1981)の結果が異なったことは測定条件の違いが影響したのではないかと推察される。構えにおける体重配分比率よりむしろ、右足離床時間を短くすることが重要であると考えられる。

打撃動作における身体の前方向移動は左足の地面を蹴る作用によって行われる。本研究では構えた位置から目標物までの距離を 2m30cm とした。通常の試合における間合とほぼ同様であり、腕を伸ばすだけでは届かない距離である。そのため、竹刀の振り上げ、振り下ろしとともに身体の前方向移動が求められる。正面打撃時間と身体重心の合成平均速度との間に有意な相関関係が認められたことから(図 2-7 上段中央)、身体の前方向移動が重要であると考えられる。また、身体重心の合成平均速度と左足に作用する鉛直地面反力のピーク値との間に有意な相関関係が認められたことから(図 2-10 左)、身体を素早く前方向移動させるためには、右足の離床と同時に左足で強く地面を蹴ることが重要であ

ると考えられる。

正面打撃時間が短い者ほど竹刀の振り上げが大きく、竹刀振り上げ角速度が大きい傾向にあった（図 2-7 上段右，下段左）。竹刀の振り上げが大きいと、剣先を長い距離動かすことになり、一般には竹刀振り上げ局面時間が長くなることが考えられる。しかし、本研究では、構えた位置から目標物まで、身体を前方移動させないと打撃が届かない距離であったため、振り下ろせば竹刀が目標物に到達する位置まで身体を前方移動させる間において、竹刀を振り上げる動作を完了させれば、この間に竹刀を大きく振り上げても、竹刀振り上げ局面時間は長くなると考えられる。むしろ、竹刀を大きく振り上げることによって得られる利点があげられる。考えられる利点として、竹刀角度の最小値と竹刀の振り下ろす速度の関係を調べたところ、竹刀の振り上げが大きい者ほど竹刀を振り下ろす速度が大きい傾向にあった（図 2-10 右）。竹刀振り上げ局面時間を短くするためには、大きな速度で竹刀を振り上げる必要があると考えられる。

4.3.2. 竹刀振り下ろし局面

正面打撃時間が短い者ほど、竹刀振り下ろし角速度が大きい傾向にあった（図 2-9 左）。竹刀を振り下ろす速度を高めることは、正面打撃時間を短縮させるのに重要であることが示された。

正面打撃時間と、LED ランプ点灯から打撃の瞬間までの身体重心の移動距離（図 2-9 中央）、および打撃の瞬間における左肩関節角度（図 2-9 右）との間にそれぞれ有意な相関関係が認められた。これは、正面打撃時間が短い者ほど目標物から遠い位置で打撃を完了させていることを示す。つまり、目標物から遠い位置で打撃を行うために、より腕を前に伸ばした姿勢（肩の屈曲位）で打

撃をしていると考えられる。打撃姿勢が正面打撃時間短縮に関わることが示唆された。

5. 小括

本章では、剣道の競技力と正面打撃時間の関係を調査し、正面打撃時間を短縮させる要因について打撃動作の特徴から検討し、以下のことが明らかになった。

1. 競技力の高い者ほど、正面打撃時間が短い傾向にあった。また、反応時間、動作時間、および竹刀振り上げ局面時間も短い傾向にあった。
2. 竹刀振り上げ局面において正面打撃時間が短い者ほど、右足離床時間が短く、竹刀の振り上げが大きく、振り上げ角速度が速い傾向にあった。竹刀振り下ろし局面では、正面打撃時間が短い者ほど、竹刀振り下ろし角速度が速く、打撃目標物からより遠い位置で左肩関節を屈曲位にして打撃している傾向を示した。
3. 左足の地面反力が大きい者ほど身体が素早く前方移動している傾向であった。

以上のことから、正面打撃時間の短縮は競技力向上に繋がることが示唆された。そして、剣道の正面打撃時間を短縮させる要因として、右足の早い離床と左足の大きな地面反力の獲得によって身体を素早く移動させながら、竹刀の振り上げ・振り下ろしのスピードを高め、打撃目標物から遠い位置で打撃を完了させるためにより腕を前方に伸ばして（肩の屈曲位）打撃することが重要であることが明らかとなった。

第3章 剣道の正面打撃動作中の踏み切り脚のキネティクス

1. 目的

第1章で述べたように、剣道では、打つという判断を下した瞬間の位置から相手の打突部位までの距離の間での、身体の早い移動を伴った打撃が求められる。第2章の結果において、正面打撃時間と身体重心の平均速度との間に有意な相関関係が認められたことから、剣道の打撃動作は早く打つことが必要になる。さらに、早く身体を移動させるためには大きな地面反力を獲得することの重要性も確認されたことから、踏み切り脚の力発揮が重要であると考えられる。したがって、踏み切り脚の関節周りの筋群がどの程度力を発揮しているか、或いはトルク発揮の変化の様相などといった、力学的特徴（キネティクスの特徴）についてより詳細な調査が必要とされる。これまでの研究においては、踏み切り動作中の地面反力の様相や、踏み切り脚の内側広筋や腓腹筋といった部分的な筋活動量が提示されているが、力学的特徴（キネティクスの特徴）については充分といえるほど明らかにされていない。剣道の踏み切り動作に類似していると考えられるフェンシングの突き動作や、各種ジャンプに関する踏み切り動作においては、踏み切り脚の関節におけるキネティクスの特徴は明らかにされており、ジャンプの種類によってその特徴に違いがあることも示されている。これらのことは、各種動作に適したトレーニングの考案に有用な知見となっている。剣道の打撃動作中の踏み切り脚においても、各関節が発揮するトルクやトルクパワーなどを推定し、どの関節周りの筋群がどの程度活動しているかなどのキネティクスの特徴を明らかにすることは、剣道の踏み切りに適したトレーニング手段の特性を理解するため、ひいては打撃動作を早くし、競技力を向上させるために必要不可欠であると考えられる。

本章の目的は、剣道の正面打撃動作中の踏み切り脚における下肢関節のキネ

ティクスの特徴を調べ、踏み切り時間とキネティクスの変数との関係を明らかにすることである。

2. 方法

2.1. 分析対象者および実験試技

本章における分析対象者は、第 2 章の 2.1. 分析対象者および実験試技と同様に大学男子剣道部員 20 名（年齢：19.5±1.1 歳，身長：1.73 ± 0.03m，体重：68.2 ± 6.1kg，経験年数：13.2±1.7 年，段位：4—2 段，表 2-1）であった。

実験試技については、第 2 章の 2.1. 分析対象者および実験試技と同様の手順の試技である。すなわち、解剖学的な身体特徴点 36 点に反射マーカを貼付した被験者に、LED ランプがそれぞれ装着された打撃目標物（面・小手）に対して、LED ランプが点灯した方に向けて 2.30m の距離から最大努力で打撃（面もしくは小手）を行わせるものとした。

2.2. 座標定義

第 2 章の 2.2. 座標定義と同様に、打撃目標物に対して、進行方向を Y 軸，左右方向を X 軸，鉛直上向き方向を Z 軸とする，右手系の静止座標系を定義した（図 3-1）。

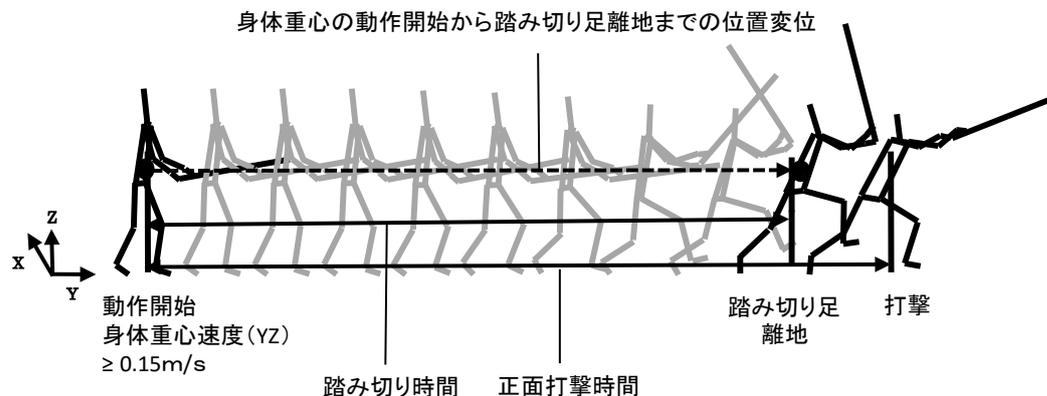


図3-1 座標定義および正面打撃時間, 踏み切り時間, 身体重心の動作開始から踏み切り足離地までの位置変位の定義

2.3. データ収集および処理

第 2 章の 2.3. データ収集および処理と同様に, 打撃動作の撮影は光学式三次元動作分析装置 (VICON MX, Oxford Metrics Group) と専用カメラ 10 台 (MX13, Oxford Metrics Group) を用いた. その際のサンプリング周波数は 250Hz とした. 同時に地面反力の測定は, 光学式三次元動作分析装置と同期された 2 台のフォースプレート (9281B, Kistler) と 1 台の 8ch チャージアンプ (9865B, Kistler) を用いて行った. その際のサンプリング周波数は 1000Hz とした.

本研究では, 面打ちの試行を研究の対象とした. 本章における分析対象の試技は, 各被験者の正面打撃時間が最短なものとした. また分析範囲は, 動作開始から打撃の瞬間までとした (図 3-1). なお, 本章の「正面打撃時間」と「動作開始」の定義については後述する. 打撃の瞬間は, 竹刀の角速度が負の値になる 1 コマ前 (1/250 秒前) とした.

第 2 章の 2.3. データ収集および処理と同様に、得られた身体各部の 3 次元座標値に対してバターワース型ローパスデジタルフィルタを用いて平滑化を行った。カットオフ周波数（14.6—27.1Hz）は Yu et al.（1999）の方法によって決定した。その際、打撃の瞬間の衝撃によって竹刀速度が急激に減速することを考慮して、剣先および鍔元の座標値の平滑化は行わなかった。座標データおよび地面反力は矢状面上（YZ 平面）に投影し、2 次元平面上で分析を行った。

2.4. 算出項目

2.4.1. 身体重心位置・速度

身体を、頭部、体幹部、左右の上腕部・前腕部・手部・大腿部・下腿部・足部の 14 部位に剛体リンクモデル化し、身体重心位置を算出した（阿江，1996）。身体重心位置の変位を時間で数値微分することで身体重心速度を算出した。

2.4.2. 正面打撃時間および踏み切り時間

本章では、正面打撃時間（*men strike motion time*）を、身体重心速度（Y 軸方向 Z 軸方向の合成）が 0.15m/s 以上に達した瞬間（以下「動作開始」とする）から打撃するまでの時間とした（図 3-1）。また、新たに踏み切り時間を算出し、踏み切り時間（*take-off time*）を、動作開始から左足（踏み切り足）の地面反力の値が 0 に至る瞬間（踏み切る瞬間）までの時間とした（図 3-1）。

2.4.3. 身体重心の動作開始から踏み切り足離地までの位置変位

身体重心の動作開始から踏み切り足離地までの位置変位を、動作開始時点の Y 軸方向における身体重心位置と、踏み切る瞬間における Y 軸方向における身体重心位置の差分とした（図 3-1）。

2.4.4. 動作中の左下肢のセグメントおよび関節の角度・角速度

動作中の左下肢の大腿，下腿，足部のセグメント角，および股，膝，足の各関節角度の定義を図 3-2 に示した．また，それぞれの角度変化を時間微分することで角速度を算出した．

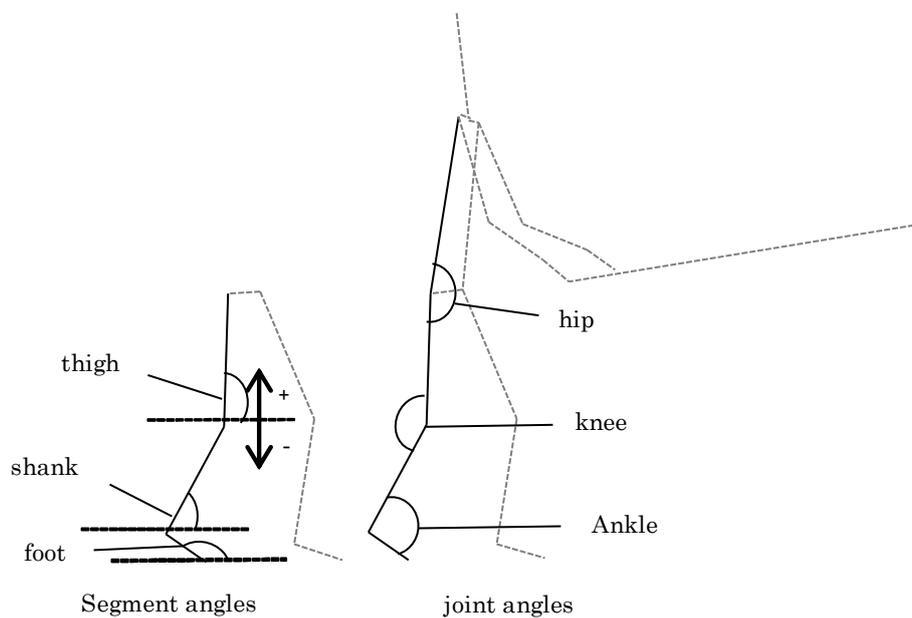


図3-2 セグメントおよび関節角度定義

2.4.5. 下肢関節トルク，トルクパワーおよび力学的仕事

逆動力学法（Winter, 2009）を用いて踏み切り脚の各セグメントにおける運動方程式を左足のつま先から股関節へ解くことで下肢 3 関節（足関節，膝関節，股関節）が発揮するトルクをそれぞれ算出した．加えて，算出した各関節トルクと各関節角速度の内積により，関節トルクパワーを算出した．各関節がなした力学的仕事は，各関節トルクパワーを時間積分することにより算出した．な

お、各セグメントの重心位置、質量配分、および慣性モーメントの算出には阿江（1996）の身体部分慣性係数を用いた。

2.4.6. トルク発揮のタイミングの同期生

本研究では、下肢 3 関節が発揮した底屈および伸展トルクのピーク値の出現時刻（appearance time）をそれぞれ抽出した。そして、被験者ごとの、下肢 3 関節がそれぞれ発揮した底屈および伸展トルクの最大値を迎える 3 つの時刻（足関節底屈トルクのピーク値出現時刻、膝関節伸展トルクのピーク値出現時刻、股関節伸展トルクのピーク値出現時刻）の平均時刻とその標準偏差を算出した。本研究では、この算出された標準偏差を「トルク発揮のタイミングの同期生」とした。この値は各個人の下肢 3 関節の底屈および伸展トルク発揮タイミングのズレ幅をみるための変数である。したがって、標準偏差が小さければ、下肢 3 関節の底屈および伸展トルク発揮はより同期されたタイミングでの発揮傾向で、標準偏差が大きければ、発揮タイミングは同期されていない傾向であることを示す。

2.5. データの規格化および統計処理

各被験者が、動作開始から打撃時までに必要な時間を 100%としてそれぞれデータを規格化し、1%ごとに平均した。関節トルク・トルクパワーおよび力学的仕事は、各被験者の体重で除して規格化した。

正面打撃時間と踏み切り時間、また、踏み切り時間とキネティクスの変数との関係を調査するため、Pearson の積率相関係数を算出した。なお、有意水準は 5%とした。

3. 結果

3.1. 踏み切り脚における下肢関節の角度，角速度，トルク，およびトルクパワ

ー

正面打撃時間は，平均 $0.781 \pm 0.081\text{s}$ ($0.567 - 0.904\text{s}$) であった．下肢関節の角度，角速度，およびトルクの変化の傾向は全被験者で類似していた．図 3-3 に被験者 20 名の動作開始から打撃の瞬間に至るまでの，踏み切り脚の下肢 3 関節（足関節，膝関節，股関節）それぞれの角度，角速度，トルク，およびトルクパワーにおける平均値の時系列変化を，規格化時間で示した．

角度・角速度の変化パターンからみてみると，足関節は 70% 時付近まで，僅かに背屈方向に角度が変化するが，70% 時付近から 95% 時付近にかけて底屈方向に角度が変化していた．また，95% 時付近から 100% 時にかけては再び僅かに背屈方向に角度が変化していた．膝関節に関して，60% 時付近まで屈曲方向に角度が変化し，60% 時付近から 90% 時付近にかけて伸展方向に角度が変化していた．また，90% 時付近から 100% 時にかけて再び僅かに屈曲方向に角度が変化していた．股関節に関して，足関節および膝関節と比較して，関節角度の変化が小さい傾向であった．関節角度は 60% 時付近まで僅かに屈曲方向に変化し，その後 90% 時付近まで僅かに伸展方向に変化し，100% 時まで再び僅かに屈曲方向に変化していた．

関節トルク・トルクパワーに関して，足関節および膝関節の変化パターンは類似していた．50% 時付近まで一定の底屈および伸展トルク発揮を示し，50% 時付近から 70% 時付近まで伸展トルク発揮が急激に大きくなり，同時期に関節角速度が正の値（伸展方向）へ推移するため，トルクパワーも正の値へ推移していた．その後 70% 以降からトルクの値が急速に減少し，90% 以降からほぼ 0 に近い値となったため，トルクパワーも 0 の値を示した．股関節に関して，50% 時

付近で伸展トルクのピーク値を迎え、その後、100%時にかけて伸展方向から屈曲方向へと変化していた。トルクパワーは、足関節や膝関節に比べて、正の値（伸展方向）が小さく、0%時から100%時にかけて0に近い値を推移していた。

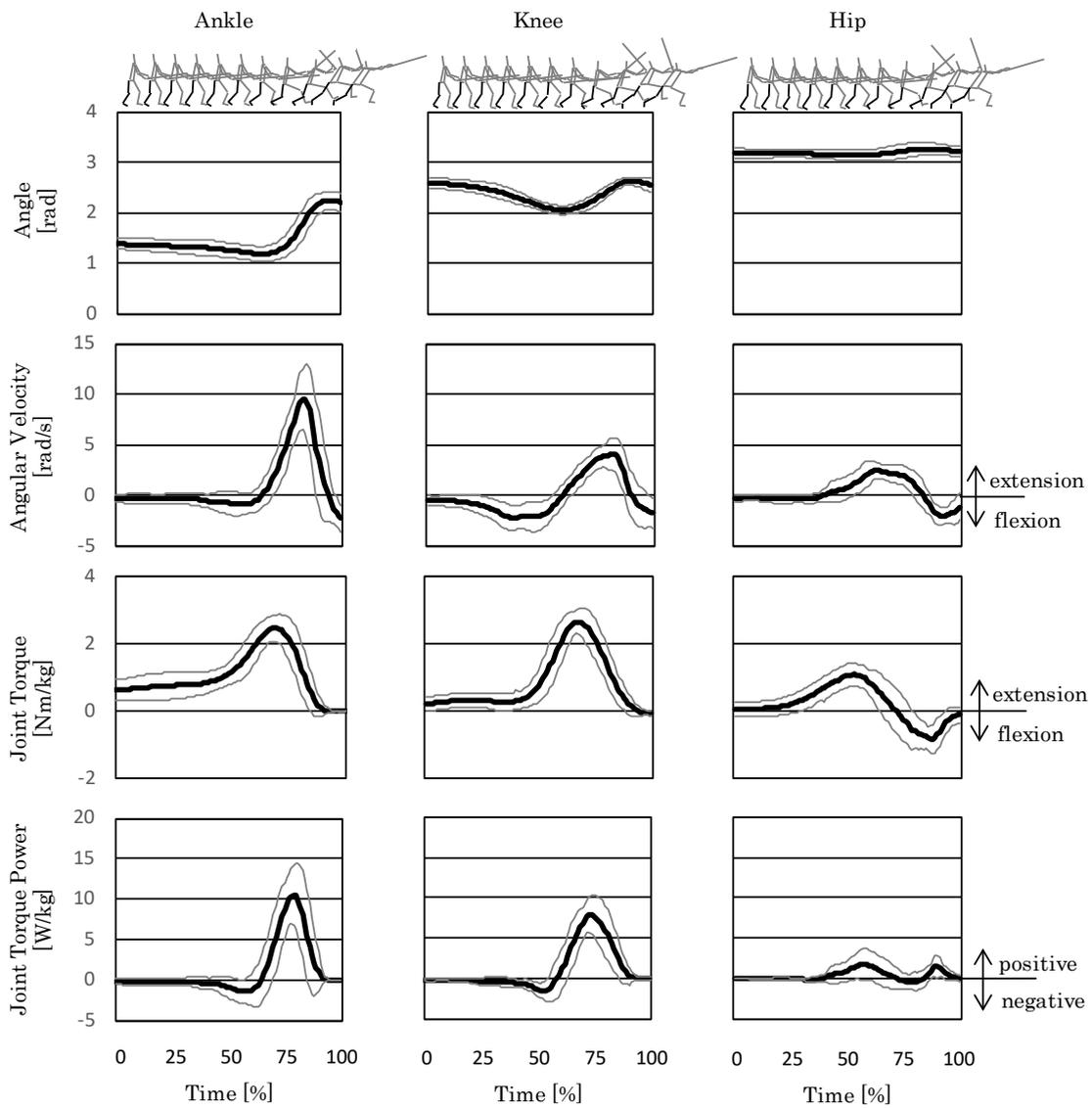


図3-3 踏み切り脚における下肢3関節の角度、角速度、トルク、トルクパワーの平均値の時系列変化

3.2. 正面打撃時間と踏み切り時間，および身体重心の動作開始から踏み切り足離地までの位置変位との関係

図 3-4 に正面打撃時間を横軸として，踏み切り時間，および身体重心の動作開始から踏み切り足離地までの位置変位との関係を示した．踏み切り時間は平均 $0.720 \pm 0.073\text{s}$ ($0.519\text{-}0.813\text{s}$) であった．また，身体重心の位置変位は，平均 $0.63 \pm 0.07\text{m}$ ($0.51\text{-}0.83\text{m}$) であった．正面打撃時間と，踏み切り時間との間に有意な相関関係が認められた ($r = 0.951$, $p < 0.001$: 図 3-4 左) . 正面打撃時間が短い者ほど，踏み切り時間が短い傾向であった．一方，正面打撃時間と身体重心の動作開始から踏み切り足離地までの位置変位との間に有意な相関関係は認められなかった ($r = 0.208$, $p = 0.379$, n. s. : 図 3-4 右) .

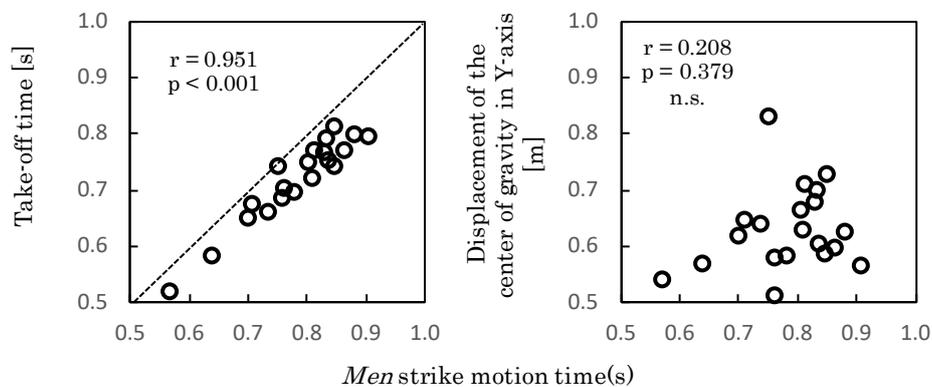


図3-4 正面打撃時間と踏切時間および身体重心の位置変位との関係

3.3. 踏み切り脚における下肢3関節の底屈および伸展トルクのピーク値と、その出現時刻

表 3-1 に踏み切り脚における下肢 3 関節それぞれが発揮した底屈および伸展トルクのピーク値と、その出現時刻 (appearance time) を示した。まず、ピーク値の出現時刻からみてみると、足関節は $70.2 \pm 4.5\%$ 、膝関節は $68.0 \pm 3.6\%$ 、股関節は $54.8 \pm 6.2\%$ を示し、足関節と膝関節の出現時刻に大きな違いはみられないが、足関節および膝関節に対して、股関節の出現時刻は早い傾向を示した。

底屈および伸展トルクのピーク値について、足関節は $2.7 \pm 0.3 \text{Nm/kg}$ 、膝関節は $2.9 \pm 0.4 \text{Nm/kg}$ 、股関節は $1.2 \pm 0.3 \text{Nm/kg}$ であった。足関節と膝関節の底屈および伸展トルクのピーク値を比較すると、大きな差がない傾向を示したが、足関節および膝関節の値と比較して、股関節の伸展トルクのピーク値は小さい傾向を示した。

表3-1 踏み切り脚の下肢3関節それぞれの伸展トルクのピーク値とその出現時刻

	Ankle	Knee	Hip
Appearance time of peak value (%)	70.2 ± 4.5	68.0 ± 3.6	54.8 ± 6.2
Peak value (Nm/kg)	2.7 ± 0.3	2.9 ± 0.4	1.2 ± 0.3

3.4. 踏み切り時間と、トルク発揮のタイミングの同期性

各被検者の下肢3関節がそれぞれ発揮した底屈および伸展トルクの最大値を迎える平均時刻の標準偏差を求め、その値をトルク発揮のタイミングの同期性として扱った。図 3-5 に踏み切り時間を横軸として、トルク発揮のタイミングの同期性との関係を示した。踏み切り時間とトルク発揮のタイミングの同期性との間に有意な相関関係が認められた ($r = 0.530$, $p = 0.016$)。踏み切り時間が短い者ほど、トルク発揮のタイミングの同期性の値が小さい傾向であった。

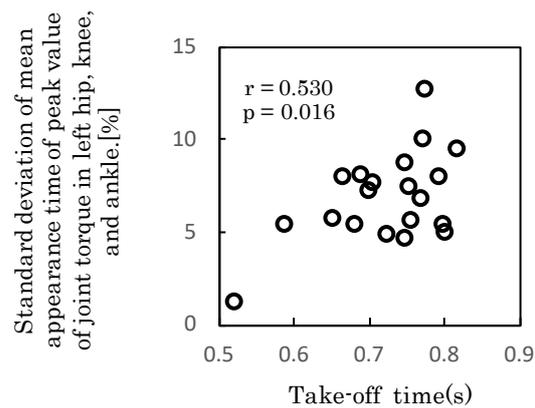


図3-5 踏み切り時間とトルク発揮のタイミングの同期性との関係

3.5. 踏み切り時間と、下肢3関節それぞれの伸展トルクおよびトルクパワーのピーク値、正の力学的仕事との関係

図 3-6 (上段) に踏み切り時間を横軸として、足関節、膝関節、および股関節

の伸展トルクのピーク値との間の関係を示した。踏み切り時間と足関節の底屈トルクのピーク値との間に有意な相関関係が認められた ($r = -0.455$, $p = 0.044$: 図 3-6 上段左)。踏み切り時間が短い者ほど、足関節が発揮する底屈トルクが大きい傾向であった。踏み切り時間と膝関節および股関節それぞれの伸展トルクのピーク値との間に有意な相関関係は認められなかった (膝関節 : $r = -0.081$, $p = 0.734$, n. s. : 図 3-6 上段中央, 股関節 : $r = 0.210$, $p = 0.374$, n. s. : 図 3-6 上段右)。

図 3-6 (中段) に踏み切り時間を横軸として、足関節、膝関節、および股関節の伸展トルクパワーのピーク値との間の関係を示した。踏み切り時間と各関節それぞれの伸展トルクパワーのピーク値との間に有意な相関関係は認められなかった (足関節 : $r = -0.216$, $p = 0.360$, n. s. : 図 3-6 中段左, 膝関節 : $r = 0.115$, $p = 0.629$, n. s. : 図 3-6 中段中央, 股関節 : $r = -0.034$, $p = 0.887$, n. s. : 図 3-6 中段右)。

図 3-6 (下段) に踏み切り時間を横軸として、足関節、膝関節、および股関節の正の力学的仕事の値との間の関係を示した。踏み切り時間と各関節それぞれの正の力学的仕事の値との間に有意な相関関係は認められなかった (足関節 : $r = -0.002$, $p = 0.993$, n. s. : 図 3-6 下段左, 膝関節 : $r = 0.262$, $p = 0.264$, n. s. : 図 3-6 下段中央, 股関節 : $r = -0.061$, $p = 0.798$, n. s. : 図 3-6 下段右)。

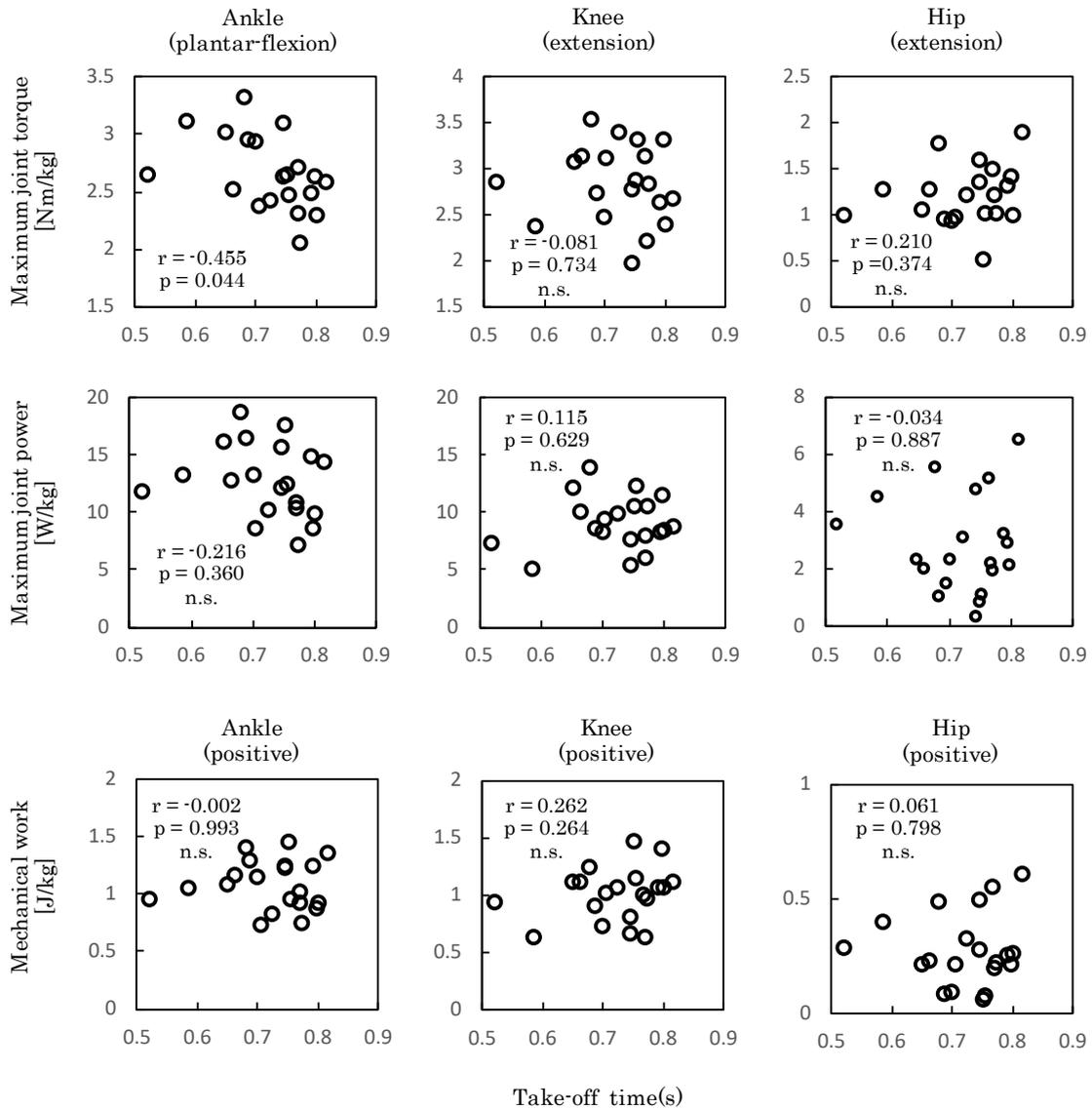


図3-6 踏み切り時間と下肢3関節の底屈および伸展トルクのピーク値の関係(上段), 踏み切り時間と下肢3関節の底屈および伸展トルクパワーのピーク値の関係(中段), および踏み切り時間と下肢3関節の力学的仕事の関係(下段)

4. 考察

4.1. 踏み切り脚（左脚）における下肢関節トルクの推移

動作開始から打撃の瞬間までの踏み切り脚（左脚）における3関節が発揮するトルクについて、足関節および膝関節においては主に伸展トルク発揮を示し、その変化パターンも類似していた（図 3-3）。股関節においては、動作の前半では足関節および膝関節同様、伸展トルクを発揮するが、その後屈曲トルクを発揮していた。これは、剣道の打ち込み動作における左脚の引きつけ動作に対応したものと考えられる。実際に、股関節の角速度の時系列変化をみても、打撃瞬間の手前からマイナスの値（屈曲方向）へ推移していることが確認できる。また、動作開始の時点で既に足関節が底屈トルクを発揮していたことは、剣道の足の構え方の特徴によるものであると考えられる。剣道の足の構えは通常、右足を前にし、左足（踏み切り脚）を後ろにする前後に開いたような状態になり、さらに左足の踵を浮かせる。この状態で自身の体重を支えるため、踏み切り脚の足関節は、底屈トルクを発揮していたと考えられる。

4.2. 踏み切り時間と、トルク発揮のタイミングの同期性、トルク・トルクパワーのピーク値、および力学的仕事との関係

本研究では正面打撃時間が短い者ほど、踏み切り時間が短い傾向であった（図 3-4 左）。本研究における正面打撃時間の平均は、 $0.781 \pm 0.081\text{s}$ であり、踏み切り時間は平均 $0.720 \pm 0.073\text{s}$ であった。このことから、正面打撃時間を構成する平均約 90%の時間において、踏み切り足は地面と接していることを示し、この間、踏み切り脚は身体を前方に送り出すために力を発揮している。また、本研究の実験条件（打撃目標物より 2.3m の距離からの打撃試技）における踏み切り足離地までの身体重心の位置変位は平均 $0.63 \pm 0.07\text{m}$ であった。試技

条件の 2.3m の距離は、相手と対峙し攻防する基本的な距離である。このことから、本実験条件の距離からの剣道の打撃動作は、約 60cm の距離をいかに短時間で移動できるかがポイントとなり、体力テストの立ち幅跳びなどの跳躍動作のように、遠くに跳ぶことを目的としていないことが明らかである。ジャンプ動作の踏み切り（荊山・凶子, 2014, 鳥海ほか 2002）の多くにおいては、長い距離や高い跳躍が目的とされると同時に、その距離や高さを実現するために踏み切り速度が重要となり、下肢筋群のより大きなパワーを発揮させることが重要視されている。実際に、立ち幅跳びにおける下肢関節パワーを調べた研究によると、跳躍距離と膝関節および股関節のピークパワーとの間に有意な相関関係が認められている（横澤ほか 2016）。一方、剣道の踏み切りにおいて、本研究では、下肢 3 関節のピークトルクパワーおよび力学的仕事の値と踏み切り時間との間には、それぞれ有意な相関関係が認められなかった。このことから、他の多くの跳躍動作と比較して、剣道の相手に向かって跳び込んで打つ面における踏み切りは、踏み切り離地時の速度を高めるのではなく、比較的短い移動距離の中で予備動作時間の短縮を優先するような戦略が必要であると考えられる。そこで、まず本研究では、下肢 3 関節の伸展トルク発揮のタイミングに着目し、各関節それぞれのピーク値の出現時刻を調べた。その結果、足関節が $70.2 \pm 4.5\%$ 、膝関節が $68.0 \pm 3.6\%$ 、股関節が $54.8 \pm 6.2\%$ で、足関節と膝関節のピーク値の出現時刻に大きな違いはみられなかったが、股関節のピーク値の出現時刻は、足関節と膝関節に比べて早い傾向を示した（表 3-1）。

他の様式のジャンプにおける踏み切り動作中の下肢関節のトルク発揮のタイミングをみると、荊山と凶子（2014）は、鉛直方向および水平方向へのリバウンドジャンプにおける力発揮特性を調べ、水平方向のリバウンドジャンプに関して、股関節が早いタイミングで伸展トルクのピーク値を迎え、その後膝

関節の伸展トルクのピーク値，次いで足関節の底屈トルクのピーク値を迎えていたことを示した．また，鉛直方向へのリバウンドジャンプにおいては，股関節が早いタイミングで伸展トルクのピーク値を迎え，その後足関節の底屈トルクのピーク値を迎え，次いで膝関節の伸展トルクのピーク値を迎えていたことを示した．鳥海ほか（2002）は，垂直跳びおよび立ち幅跳びの下肢 3 関節のトルク発揮の特徴について調べ，垂直跳びに関して，股関節および足関節の伸展および底屈トルクのピーク値が早いタイミングで出現し，それに遅れて膝関節がピーク値を迎えていることを示した．また，立ち幅跳びに関して，股関節伸展トルクが初めにピーク値を迎え，その後，膝関節の伸展トルクのピーク値を迎え，最後に足関節の底屈トルクのピーク値を迎えていることを示した．

一方，Morris et al.（2011）のフェンシングの突き動作の踏み切り脚における下肢関節のトルクやパワーを調べた研究では，下肢関節の底屈および伸展トルクの発揮タイミングは，股関節が最初で，膝関節および足関節の発揮タイミングは同様であることを示した．本研究でも，股関節の伸展トルク発揮のタイミングが膝関節や足関節と比較して早い傾向にあり，膝関節と足関節はほぼ同様なタイミングであることを示し，Morris et al.（2011）の結果と類似した結果となった．

以上のことから，跳躍動作でも水平方向に遠くに跳ぶのか，或いは鉛直方向に高く跳ぶのかによってトルク発揮のタイミングは変わり，また，踏み切る方向が跳躍動作と同様の水平方向でも，剣道やフェンシングのように相手に対して素早く技を繰り出すための踏み切りとなれば，トルク発揮のタイミングも跳躍距離や離地時のスピードを重視する跳躍動作とは異なることが明らかとなった．相手に素早く技を繰り出すために予備動作の時間を短縮させることを優先させるのであれば，下肢 3 関節の底屈および伸展トルクが発揮されるタイミン

グは、可能な限り同時が理想であると予想される。そこで、本研究では次に、トルクが発揮されるタイミングのズレ幅に着目し、踏み切り時間と被検者ごとの下肢 3 関節それぞれの底屈および伸展トルクの最大値を迎える瞬間の 3 つの平均時刻の標準偏差（トルク発揮のタイミングの同期性）との関係を調べた。その結果、踏み切り時間が短い者ほど、トルク発揮のタイミングの同期性の値が小さい傾向であった（図 3-5）。このことから、下肢 3 関節の同様なタイミングでのトルク発揮が重要であることが示唆された。この結果は、予備動作時間を短縮させるためのポイントになると考えられる。また、下肢 3 関節のトルク発揮のタイミングを同期させることによって、予備動作を減らして重心を加速させることが可能で、第 2 章の結果で提示した予備動作時間の短縮に貢献していると考えられる。相手と対峙している中で素早く攻撃を繰り出すことが求められる剣道やフェンシングのような競技において重要な知見となるだろう。

本研究では、踏み切り時間と下肢 3 関節の底屈および伸展トルクのピーク値との関係を調べ、踏み切り時間が短い者ほど足関節の底屈トルク発揮が大きい傾向であることを示した（図 3-6, 上段左）。図子と高松（1995）のリバウンドドロップジャンプにおける踏み切り時間を短縮する要因を検討した研究によれば、高く跳ぶためには、下肢の各関節の角度変位を大きくすること、あるいは大きな筋群を動員することなどによって、できるだけ地面反力を大きくかつ長くし、大きな力積を獲得することが必要であると述べている。しかしこれらのことは、できるだけ短時間に跳ぶためには必ずしも有利な条件にはならないと結論付けている。すなわち、踏み切り時間を短縮するには、質量や慣性モーメントの大きな部位を優先的に動員するのではなく、下肢の各関節の角度変位を小さくし、短時間に大きなパワーを発揮できる足関節が重要になることを示している。剣道の踏み切りでは、踏み切り時間の短縮の重要性と短い移動距離を

考慮すると、時間をかけて角度変位を大きくすることによって、発揮できるトルクも大きい股関節や膝関節を優先的に動員させるよりは、短時間でトルクやパワーを発揮できる足関節の貢献度を大きくさせることが理想とされる。また、剣道は常に後ろ足（左足）の踵を浮かせてつま先立ち状態で構え、その状態のまますり足で移動する。そのため、左足の足関節は底屈トルクを発揮している状態が多くなる。実際に剣道競技者の形態学的特徴を調べた研究（草間ほか1981）によると、左下腿のふくらはぎの周径位は右のものと比較して大きいことが明らかとなっている。つまり、剣道では左脚の、特に足関節の底屈トルク発揮が大きな役割を果たしていると考えられる。本研究の結果から、足関節の底屈トルク発揮を大きくさせることは、踏み切り時間の短縮に貢献していることが示唆された。

以上のことからまとめると、本研究の実験条件における剣道の踏み切り動作では、動作中の身体の移動距離はおおよそ 60cm で、この距離をいかに短い時間で移動できるかがポイントとなる。本研究の結果から、①下肢 3 関節の底屈および伸展トルクは同様なタイミングで発揮させること、②下肢 3 関節の中でも特に足関節の発揮する底屈トルクを大きくさせることが、剣道の踏み切り時間を短縮させるのに重要であることが明らかとなった。

4.3 トレーニングへの示唆

本研究の結果から、剣道の踏み切り動作では、下肢 3 関節それぞれの底屈および伸展トルクを同様なタイミングで発揮させること、そして、足関節の底屈トルクを大きくさせることが重要であることが明らかとなった。また、本研究の下肢のトルクパワーの波形図をみても、エキセントリックな筋活動（負のパワーの値）が少ない傾向を示していることが確認できる。これらのことから、

具体的には、踏み切り脚の下肢 3 関節のトルク発揮の同期を意識した「静から動」の動作を爆発的に行えるよう、繰り返しトレーニングを行うことと、足関節の発揮する底屈トルクを大きくさせることができるように、足関節の底屈筋群を意識的にトレーニングしていくことが重要であると考えられる。今後は、実際にトレーニングを実施し、その効果を確認しながらトレーニングプログラムを検討していく必要がある。本研究の結果はトレーニング方法を考案していくための有益な情報を提供するものである。

5. 小括

本章では、剣道の正面打撃中の踏み切り脚のキネティクスの特徴を明らかにし、キネティクスの特徴と踏み切り時間との関係を調査し、以下のことが明らかとなった。

1. 正面打撃時間が短い者ほど、踏み切り時間が短い傾向にあった。また、正面打撃時間を構成する約 90%の時間が踏み切り時間であった。
2. 踏み切り脚の下肢 3 関節の底屈および伸展トルクのピーク値を迎える時刻が、それぞれ足関節が $70.2 \pm 4.4\%$ 、膝関節が $68.0 \pm 3.6\%$ 、股関節が $54.8 \pm 6.2\%$ で、足関節と膝関節に大きな違いは見られなかったが、股関節は他の 2 関節と比較するとピーク値を迎える時刻が早い傾向の値を示していた。
3. 下肢 3 関節のトルク発揮のタイミングの同期性と踏み切り時間との間に有意な相関関係が認められた。下肢 3 関節のトルク発揮のタイミングの同期性の値が小さい者ほど、踏み切り時間が短い傾向を示した。
4. 踏み切り時間と足関節の底屈トルクのピーク値との間に有意な相関関係が認められたが、膝関節および股関節の伸展トルクのピーク値、また、下肢 3 関節の正のピークトルクパワーおよび力学的仕事との間にそれぞれ有意な相関関係は認められなかった。

以上のことから、剣道の踏み切り動作では、動作中の身体の移動距離はおおよそ 60cm で、この距離をいかに短い時間で移動できるかがポイントとなる。そのために、下肢 3 関節の発揮する底屈および伸展トルクは同様なタイミングで発揮させることが、剣道の踏み切り時間を短縮させるのに重要であることが推察された。

第 4 章 総括

本論文の目的は、剣道の正面打撃時間と競技力の関係を調査するとともに、1. 正面打撃時間と打撃動作の特徴の関係、2. 正面打撃動作中の踏み切り脚のキネティクスの特徴を明らかにすることで、剣道の正面打撃時間の短縮に影響を及ぼすバイオメカニクスの要因を検討することであった。

大学男子剣道部員 20 名に、LED ランプがそれぞれ装着された打撃目標物（面・小手）に対して、LED ランプが点灯した方に向って 2.30m の距離から最大努力の打撃（面もしくは小手）を行わせ、打撃動作をモーションキャプチャーシステムによって記録した。同時に打撃動作中の足部に作用する地面反力をフォースプレートによってそれぞれ記録した。

正面打撃時間と部内戦の順位との間に有意な相関関係が認められたため、正面打撃時間を短縮させることは、競技力向上につながることを示唆された。

正面打撃時間を短縮させる要因の 1 つとして、右足の離床を早めることが挙げられた。正面打撃時間が短い 3 名と長い 3 名のそれぞれの右足が離床するまでの左右の足部に作用する地面反力の変化をみると、正面打撃時間が短い 3 名の右足に作用する地面反力は長い 3 名に比べて 0 になる（離床する）のが早く、また、体重のかけかえが行われていなかった。すなわち、体重のかけかえが少ないと右足を離床させるまでの時間が短くなり、その後の身体の移動が素早く行えることを意味する。正面打撃時間が長い 3 名は右足が離床するまでに左右の足での体重のかけかえが行われていた。

正面打撃時間と鉛直方向の地面反力のピーク値、身体重心の合成平均速度、竹刀の振り上げ角速度との間にそれぞれ有意な相関関係が認められた。右足が離床してから、踏み切り足による床を蹴る力を強くし、身体を素早く移動させるとともに竹刀の振り上げを速めることが重要であることが明らかとなった。

正面打撃時間と竹刀振り下ろし速度、Y軸方向における身体重心の移動距離、および打撃時の左肩関節角度との間にそれぞれ有意な相関関係が認められた。正面打撃時間が短い者は、竹刀の振り下ろし速度が高く、打撃目標物から遠い位置で打撃を完了させている傾向を示した。遠い位置から打撃を完了させるために打撃時の肩関節をより屈曲位にして打撃をすることが求められる。

正面打撃動作中の踏み切り足の下肢3関節のトルク発揮は主に伸展トルクで、トルクパワーについても特に足関節および膝関節は主に伸展トルクパワー発揮をしており、負のトルクパワー発揮（エキセントリックな筋活動）が小さい傾向であった。また、正面打撃時間を構成する約90%の時間が踏み切り時間であったため、正面打撃時間を短縮するためには踏み切り時間を短縮することが重要である。さらに、踏み切り動作中の身体の移動距離（踏み切り足離地まで）は平均約60cmで、他のジャンプ系種目と比較すると極めて短い。これらのことから、剣道の踏み切りは遠くに跳ぶことは目的としておらず、短時間での素早い移動が求められ、予備動作を極力なくした踏み切りが必要とされる。そのため、本論文では、下肢3関節それぞれのトルク発揮タイミングの同期性に着目し、踏み切り時間との関係を調べたところ、トルク発揮のタイミングの同期性の値が小さいほど踏み切り時間が短い傾向という有意な相関関係が認められた。このことから、短時間で素早く身体を移動させるためには、下肢3関節の同様なタイミングでのトルク発揮が重要となることが明らかとなった。踏み切り時間と、各関節のトルクパワーのピーク値や、力学的仕事との間に有意な相関関係が認められなかったのはこのような特性が影響していると考えられる。すなわち、ジャンプ系種目における踏み切りと剣道の踏み切りとは戦略が大きく異なるということである。剣道の踏み切りにおいては、右足の離床を早め、下肢3関節の瞬間的で且つ同期的なトルク発揮が重要視される。

まとめると、剣道の打撃動作はスムーズな初動が重要である。それは早い右足の離床や踏み切り脚の同様なタイミングでのトルク発揮、およびそれによる身体の素早い移動の重要性から推察される。つまり、予備動作なく重心を加速させることが必要になる。そして、移動中の竹刀の速い操作、遠い位置から打撃できるよう両腕を前方に伸ばして（すなわち肩をより屈曲位にして）打撃するというような、竹刀操作や打撃姿勢も正面打撃時間の短縮につながるということが明らかとなった。

以上の点を意識して打撃動作に取り組むことで、正面打撃時間は短縮されると考えられる。正面打撃時間は競技力向上に繋がるということが明らかとなり、正面打撃時間を短縮させる要因を検討することの重要性が示された。本論文の結果は、今日の剣道の指導現場に対して有用な知見を提供する。

今後は、本論文で明らかとなった踏み切り脚のキネティクスの特徴から、踏み切り脚の下肢3関節のトルク発揮の同期を意識した「静から動」の動作を爆発的に行えるようなトレーニング方法を考案し、その効果を検証しながらトレーニングプログラムを検討していく必要がある。

最後に、本論文では正面打撃時間の短縮は競技力向上に繋がると結論付けている。しかしながら一部のデータ（順位の上位7名）においては、順位が上位な者ほど打撃時間が長い傾向を示している。一部このようなデータがみられることは競技力を決定づける要因が他にもあると考えられるからである。本論文ではそれが何かは言及できない。また、比較的似通った集団のデータを用いていることから、本研究で得られた知見が、より高いレベルの競技者や女性の競技者、あるいは年配の競技者にそのまま適用されるかは不明である。さらに、実際の試合では相手と互いに攻防動作を行うが、本論文の実験試技では、静止状態からLEDランプの点灯を合図として、2.30mと定められた距離から2択式

での打撃という条件で行わせたため、実験試技環境が実際の試合と多少異なるものであった。加えて、本論文では、正面打撃時間を短縮させる要因を、正面打撃時間や踏み切り時間と相関関係にある項目から検討しているため、上肢や下肢の動作の協調性を調べられておらず、その観点から打撃動作時間を短縮させる要因について言及できていない。本研究で得られた知見を指導現場に活かす際には、以上の点について留意する必要があるだろう。

第5章 体育学への貢献および今後の展望

第2次大戦敗戦後、日本は連合国軍最高司令官司令部の占領下におかれたため、剣道を行うことを禁止されていた。しかし、1952年に、正式に国家としての全権を回復してから、全日本剣道連盟が結成されるとともに剣道は再開された。今日では、学校体育の重要な一部分を構成するとともに、数百万人に及ぶ幅広い年齢層の競技者や愛好家が稽古に励んでいる。世界各地で剣道に取り組む外国人も増え、1970年の国際剣道連盟の結成を機に、第1回世界剣道選手権大会が日本武道館において開催された。2018年9月には韓国の仁川において第17回世界剣道選手権大会が開催され、56カ国から選手が集まった。このように、剣道はオリンピック競技ではないものの、国内では勿論、国際的にも普及している。その一方で、オリンピック競技である柔道に比べ、同じ武道であっても、国際的な学術研究の数が少なく、科学的に裏付けされた技術指導法やトレーニング指導法が確立されていないため、伝統的な修練方法や経験などに頼って指導されることが多いのが現状であった。

バイオメカニクス的研究手法は、動作を定量的に示し、その動作の原因を解明することが可能である。そのため、本研究では「打撃時間の短縮要因の検討」をテーマに、バイオメカニクス的研究手法を用いて打撃動作の分析を行った。経験からも早く打撃することが重要と考えられてきたが、これまでに、競技力の高い者ほど打撃時間が短いなどの基本的な情報が示されておらず、早く打撃する方法は提示されて来なかった。本研究は、打撃時間を短縮させる要因について、分析から得られた客観的なデータを基に検討を行ったため、指導者や競技者に対して有益な情報を提供するものである。

特に、打撃動作中の踏み切り脚のキネティクスの特徴を明らかにしたことは、剣道に適したトレーニング方法を考案する一助になると考えられる。指導現場

では“剣道をすること自体がトレーニングになる”と言われることがあり，そのように認識している競技者や指導者も少なくない．また，剣道に特化したトレーニング方法の論文や書籍もほとんどみられないことから，剣道では組織的にトレーニングを実施することが少なく，必要に応じて個人が手探り状態でトレーニングをするというのが現状である．こうした中，本研究で得られた結果はトレーニングプログラムの考案に大いに役立つものと確信する．今後は，その効果を検証していくことが求められる．今後の研究課題となろう．

これまでに十分と言えるほど研究がされてこなかった剣道の正面打撃時間の短縮要因について，バイオメカニクスの観点から明らかにした本研究は，体育学，スポーツ科学の更なる発展に貢献するものと考えている．

謝辞

本論文を執筆するにあたり、中京大学スポーツ科学部の桜井伸二教授には多大なるご指導、ご鞭撻を賜りましたこと、厚く御礼申し上げます。「博士の学位は研究者としての運転免許証」と、桜井先生がおっしゃっていたことがあり、そのことを思い出しながらこの謝辞を執筆しております。本論文の完成が「ゴール」ではなく、研究者としての「スタート」であることを胸に刻み、これからも研究者として精進して参る所存でございます。

本論文の副査を引き受けて頂きました中京大学スポーツ科学部の高橋繁浩教授、荒牧勇教授には、本論文を執筆する上での確かな御助言や激励を頂きましたこと、心より感謝申し上げます。

データ収集に際して、ご協力いただきました中京大学体育会剣道部の堀山健治師範（中京大学スポーツ科学部教授）をはじめ、部員の皆様には大変感謝しております。

最後に、私を育ててくれた両親、応援してくれた家族に心より感謝します。ありがとうございました。

文献

阿江通良（1996）日本人幼少年およびアスリートの身体部分慣性係数.

Japanese Journal of Sports Science, 15 : 155-162.

恵土孝吉・端由紀美・渡辺香（1983）剣道試合における分析的研究 - 一流選手の技術 - . 金沢大学教育学部紀要, 教育科学, 32 : 81-92.

恵土孝吉・星川保（1984）剣道の防御における時間的研究. 武道学研究, 16 (3) : 31 -39.

神埼浩・伊藤章（2005）剣道の正面打ち動作に関する動作学的研究 - 剣先速度に及ぼす動作要因 - . 大阪体育大学紀要, 36 : 51-60.

荻山靖, 関子浩二（2014）跳躍方向の異なるバウンディングにおける踏切脚の力発揮特性. 体育学研究, 59: 397-411

久保哲也, 木塚朝博, 斎藤実, 武藤健一郎, 香田郡秀, 佐藤成明（2001）剣道における足構えに関する研究—中段の構えの両足の前後幅の変化が正面打突動作の下肢の筋放電量と力発揮特性に及ぼす影響— . 武道学研究, 33 (3) : 12-15

草間益良夫, 高橋彬, 進藤正雄（1981）剣道選手の形態学的特徴と中段における足の構えとの関連性について. 武道学研究, 13 (2) 83-85

三宅聡史・加賀勝（2003）剣道一流競技者の面打撃動作分析：大学剣道部員と比較して. 武道学研究, 36 (2) : 51-58

三橋秀三（1972）剣道. 大修館書店：東京, pp. 41-42, p. 99

Morris N, Farnsworth M, Robertson DGE (2011) Kinetic analyses of two fencing attacks-lunge and fleche. *Portuguese Journal of Sport Sciences*, 11: 343-346

Muraki Y, Ae M, Koyama H, Yokozawa T (2008) Joint torque and power of

the takeoff leg in the long jump. *International Journal of Sport and Health Science*, 6: 21-32

中鉢秀一・三浦望慶・直原幹・吉本修・榊原潔（1987）剣道の打撃における前方および後方への移動動作の分析. *武道学研究*, 19（3）：28-34.

大崎雄介・恵土孝吉・渡辺正敏・田辺実（1987）面打撃時間と体格，筋力，パワーとの関係. *武道学研究*, 20（2）：25-26.

笹原六朗（1970）剣道試合における勝敗の分析的研究 - 全国高校および全日本選手権大会の場合 - . *武道学研究*, 2（2）：41-46.

田淵知好・安東三次（1966）剣道の動作における反応時間の研究. *津山工業高等専門学校紀要*, 1：381-385.

田中幸夫・藤田紀盛・百鬼史訓（1980）剣道における打撃動作のバイオメカニクス的研究 - 踏み込み動作の男女の相違について - . *武道学研究*, 13（1）：1-8

巽申直（1985）剣道試合時の有効打突とその判定について. *武道学研究*, 17（1）：18-19.

鳥海清司，大島徹，熊本水頼（2002）関節トルクからみたヒトの跳躍方向の調節. *バイオメカニズム*, 16：243-252

脇田裕久・八木規夫・長井健二（1989）剣道の Biomechanics 的研究：第 2 報 中段の構えにおける歩幅変化が打撃動作に及ぼす影響. *三重大学教育学部研究紀要 - 自然科学 -*, 40：65-73.

Williams, L R T , and Walmsley, A（2000）Response timing and muscular coordination in fencing: A comparison of elite and novice fencers. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 3：460-475.

Winter, D A（2009）*Biomechanics and motor control of human movement* (4th

ed.). John Wiley & Sons, pp. 108-137.

横山直也・今井三郎・坪井三郎・百鬼史訓（1981）剣道の構えにおける体重配
分と正面打撃時の応答時間および踏み切り動作に関する研究．武道学研究，
13（2）：86-87.

横山直也，百鬼史訓（1984）剣道の中段の構えにおける左足先方向が足底力と
正面打撃動作に及ぼす影響について．武道学研究，16（2）18-26

横山直也・百鬼史訓・久保哲也・川上有光（2001）剣道における正面打撃動作
の標準的 3 次元動作モデルの構築．武道学研究，33（3）：39-50.

横澤俊治，熊川大輔，荒川裕志，勝亦陽一，赤木亮太（2016）立幅跳踏切動作中
の下肢関節パワーと等速性最大筋力との関係に関するバイオメカニクスの研
究．体育学研究，61：173-184

Yu B, Gabriel D, Noble L, and An K N（1999）Estimate of the optimum
cutoff frequency for the Butterworth Low-Pass Digital Filter. *Journal of
Applied Biomechanics*, 15 : 318-329.

全日本剣道連盟（2019）剣道試合・審判規則・細則．P. 8

全日本剣道連盟（2007）全日本剣道連盟剣道試合・審判・運営要領の手引き．P.
7

関子浩二，高松薫（1995）リバウンドドロップジャンプにおける踏切時間を短
縮する要因：下肢の各関節の仕事と着地に対する予測に着目して．体育学研
究，40：29-39